

## INFORME UIT-R BO.2007-1

**CONSIDERACIONES PARA LA INTRODUCCIÓN DE LOS SISTEMAS DEL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE DE TELEVISIÓN DE ALTA DEFINICIÓN\***

(1995-1998)

**1 Introducción**

La Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (CAMR-92) (Málaga-Torremolinos, 1992) efectuó una atribución de las bandas de 21,4-22,0 GHz en las Regiones 1 y 3 y de las bandas de 17,3-17,8 GHz en la Región 2 al servicio de radiodifusión por satélite (SRS) con carácter primario a partir del 1 de abril de 2007. Adoptó, mediante la Resolución 525, un conjunto de procedimientos provisionales para poder introducir la televisión de alta definición (TVAD) del SRS en las Regiones 1 y 3 a partir del 1 de abril de 1992.

La Resolución 525 (CAMR-92) estipula también que la banda de frecuencias atribuida se utilizará para la TVAD en el SRS. Estipula además que, antes de que una futura conferencia adopte decisiones sobre los procedimientos definitivos, la utilización de las bandas atribuidas se base en la Resolución 33 (Rev.CMR-97) y en el Artículo S27/34 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), y que después del 1 de abril del 2007 la introducción de los sistemas de TVAD en esta banda debe reglamentarse de una forma flexible y equitativa hasta que una futura conferencia mundial de radiocomunicaciones competente haya adoptado las disposiciones definitivas para este fin de conformidad con la Resolución 507.

Los procedimientos provisionales se basan en puntos de la Resolución 33 (Rev.CMR-97) que aplican el SRS en las bandas en las que no hay planes en vigor, pero limitan los requisitos de coordinación con las asignaciones de otros países a los sistemas que exceden determinados valores de umbral.

Este Informe enumera una serie de características que hay que considerar en el desarrollo de los sistemas del SRS de TVAD, según estos procedimientos. Aunque los procedimientos provisionales de la Resolución 525 (CAMR-92) se aplican únicamente a la introducción del SRS de TVAD en la banda de 21,4-22 GHz en las Regiones 1 y 3, los textos de los § 5, 6 y 7 y los Anexos del presente Informe pueden también interesar a la planificación del sistema en la banda de 17,3-17,8 GHz en la Región 2. De igual manera, estos textos pueden ofrecer interés en relación con la posible inclusión en la banda de 12 GHz de los sistemas del SRS de TVAD, especialmente para los países tropicales de las Regiones 1 y 3, tal como preveía la Resolución 524 (CAMR-92).

**2 Disposiciones reglamentarias**

La Resolución 525 (CAMR-92) establece una serie provisional de disposiciones reglamentarias para dar acceso flexible y equitativo a la órbita geostacionaria y al espectro designado, antes de que una conferencia mundial de radiocomunicaciones competente adopte decisiones definitivas en cuanto al procedimiento de sustitución. La Resolución distingue entre sistemas «operacionales» y «experimentales» y entre los sistemas que se introducirán antes y después del 1 de abril de 2007. El Cuadro 1 indica los procedimientos aplicables.

**3 Estatuto de los servicios existentes**

La banda de 21,4-22,0 GHz está también atribuida a los servicios fijo y móvil con carácter primario. El § 1 del Anexo a la Resolución 525 (CAMR-92) indica que:

«Se entiende que hasta el 1 de abril de 2007 todos los servicios existentes en la banda 21,4-22,0 GHz en las Regiones 1 y 3 que funcionan de acuerdo con el Cuadro de atribución de bandas de frecuencias están autorizados a continuar su funcionamiento. Después de dicha fecha podrán seguir funcionando, no causando interferencia perjudicial a los sistemas del SRS de TVAD ni pudiendo reclamar protección frente a tales sistemas.»

Este requisito puede dar lugar a que haya que cambiar la atribución a los servicios fijos de la banda de 21,4-22,0 GHz a otras bandas próximas. El Grupo Mixto de Trabajo (GMT) 10-11S de Radiocomunicaciones ha solicitado a la Comisión de Estudio 9 de Radiocomunicaciones que examine este aspecto.

---

\* Este Informe ofrece datos técnicos de interés para la aplicación de los procedimientos provisionales de la Resolución 525 (CAMR-92).

CUADRO 1

**Esquema general de los procedimientos aplicables para implementar los sistemas del SRS de TVAD\***

Fecha de utilización de la banda de TVAD	Condiciones		Disposiciones aplicables del RR
Antes del 1 de abril de 2007	Sistemas experimentales		Artículo S27/34: Estaciones experimentales  Res. 33 (Rev.CMR-97), Sec. A: Procedimiento de coordinación entre estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite y estaciones terrenales  Res. 33 (Rev.CMR-97), Sec. B: Procedimiento de coordinación entre estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite y sistemas espaciales de otras administraciones  Res. 33 (Rev.CMR-97), Sec. C: Notificación, examen e inscripción en el Registro Internacional de frecuencias
	Sistemas operacionales	DFP > a	Res. 33 (Rev.CMR-97), Sec. A: Procedimiento de coordinación entre estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite y estaciones terrenales  Res. 33 (Rev.CMR-97), Sec. B: Procedimiento de coordinación entre estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite y sistemas espaciales de otras administraciones  Res. 33 (Rev.CMR-97), Sec. C: Notificación, examen e inscripción en el Registro Internacional de frecuencias
		DFP < a	Res. 33 (Rev.CMR-97), Sec. B: Procedimiento de coordinación entre estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite y sistemas espaciales de otras administraciones  Res. 33 (Rev.CMR-97), Sec. C: Notificación, examen e inscripción en el Registro Internacional de frecuencias
Después del 1 de abril de 2007	Nuevos procedimientos adoptados por una futura CMR		Aplicación de dicho procedimiento nuevo
	No hay nuevos procedimientos adoptados		Res. 33 (Rev.CMR-97), Sec. B: Procedimiento de coordinación entre estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite y estaciones espaciales de otras administraciones  Res. 33 (Rev.CMR-97), Sec. C: Notificación, examen e inscripción en el Registro Internacional de frecuencias

\* Origen: Resolución 525 (CAMR-92).

a: Límites definidos en el § 4 de este Informe.

DFP: Densidad de flujo de potencia

#### 4 Valores umbral para la coordinación

Son los siguientes de la densidad de flujo de potencia en la superficie de la Tierra producida por las emisiones procedentes de una estación espacial en el territorio de otro país:

- $-115 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en cualquier banda de 1 MHz para ángulos de llegada entre  $0^\circ$  y  $5^\circ$  sobre el plano horizontal; o
- $-105 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en cualquier banda de 1 MHz para ángulos de llegada entre  $25^\circ$  y  $90^\circ$  sobre el plano horizontal; o
- valores obtenidos por interpolación lineal entre estos límites para ángulos de llegada entre  $5^\circ$  y  $25^\circ$  sobre el plano horizontal.

El GMT 10-11S examinó estos valores con los que se ha de dar protección al servicio fijo y que se aplican únicamente hasta el 1 de abril de 2007, conforme a la Resolución 525 (CAMR-92). A partir de esta fecha, podrán introducirse niveles mayores de densidad de flujo de potencia (dfp), a expensas de lo que indiquen estudios ulteriores sobre requisitos de disponibilidad del servicio.

## 5 Requisitos de servicio

Es necesario continuar los estudios sobre el desarrollo detallado de los requisitos de servicio para la TVAD del SRS. A continuación se indica un conjunto de requisitos provisionales:

### 5.1 Objetivos generales del sistema

- a) Una norma convenida para la radiodifusión por satélite de la TVAD digital (véase también el § 9).
- b) La norma de transmisión debe ser aplicable a otros medios pertinentes con la complejidad de conversión mínima.
- c) La señal emitida podrá recibirse en antenas individuales pequeñas (45-90 cm). También podrá ser aplicada a cabeceras de cable. Conviene que sea compatible con la red digital de servicios integrados-B (RDSI-B).

### 5.2 Requisitos de servicio y de cobertura

- a) La TVAD se destina a la recepción fija con la máxima calidad posible dentro del formato de TVAD (calidad de estudio virtual).
- b) Disponibilidad del servicio durante un porcentaje de tiempo del mes más desfavorable (la continuidad del servicio en los sistemas digitales se determina normalmente por el punto de extracción) que quedará determinada por nuevos estudios (véase el § 6).
- c) Características de fallo subjetivamente aceptables. En la gama de 21 GHz, esto puede exigir la aplicación de técnicas de reducción de la atenuación, tales como las de modulación por capas y codificación del canal, o control adaptable de la p.i.r.e. del satélite, dando calidad de televisión de definición convencional (TVDC) y/o televisión de definición reducida (TVDR) únicamente en caso de desvanecimientos profundos.

*Nota importante* – El sonido no debe fallar antes de la imagen.

- d) Elección del método de modulación técnicamente adecuado para lograr (en la medida de lo posible) una gran eficacia de utilización del espectro, una potencia de transmisión reducida y pequeñas relaciones de protección para maximizar la reutilización de frecuencias sin minimizar las limitaciones de compartición con el propio servicio y con otros.
- e) Posibilidad de cobertura nacional, multinacional y subnacional.
- f) Disposiciones para la aleatorización con el fin de lograr la dispersión de energía mediante la conformación del espectro.
- g) Disposiciones para acceso condicional.

### 5.3 Requisitos relacionados con el múltiplex

- a) Todos los elementos del servicio relacionados con un servicio de programa completo tienen que combinarse utilizando técnicas de multiplexión adecuadas.

Los elementos del servicio incluirán el sonido, la imagen y los datos y, facultativamente, la protección contra errores en banda de base.

- b) Velocidad binaria bruta fija a la salida del multiplexor.
- c) Configuración flexible del múltiplex con reconfiguración dinámica. (Lo que incluye transmisión frecuente de la información sobre configuración del múltiplex.)
- d) Múltiplex común e información de servicio (SI) para los diversos sistemas de distribución.

### 5.4 Requisitos del receptor

- a) Facilidad de utilización para el usuario.
- b) Coste aceptable del receptor en producción masiva.
- c) Máximo de elementos comunes en el tratamiento de la señal para los distintos medios de difusión, tales como los de transmisión por satélite, terrenal y por cable.
- d) Capacidad de recepción de señales de TVAD digitales de plena calidad distribuidas a través de redes de satélite, terrenales y de cable (opcionalmente, en combinación con las actuales señales de televisión).

## 6 Disponibilidad del servicio

Es preciso estudiar urgentemente la disponibilidad de TVAD del SRS. Algunas administraciones proponen valores del 99,6% al 99,7% en el mes más desfavorable para la continuidad del servicio. Se señala que como el sistema de TVAD será probablemente digital, experimentará una rápida degradación distinta de la degradación experimentada en los sistemas analógicos. Una selección minuciosa de la codificación y la modulación pueden mejorar la disponibilidad del servicio. En los Anexos 1 y 3 figuran posibles enfoques del tema.

En Italia se han efectuado estudios sobre estrategias avanzadas de protección contra errores en servicios de televisión digital/TVAD por satélite. Estas estrategias utilizan un código «interior» convolucional/en rejilla asociado al módem digital y un código de bloque «exterior» asociado al códec vídeo para minimizar la proporción de bits erróneos (BER). En los receptores que funcionan con velocidades binarias elevadas puede ser necesario utilizar microcircuitos «Viterbi paralelo» lo que puede dar lugar a una degradación de la ganancia de codificación. En Italia se están estudiando (Docs. 10-11S/97 y Grupo de Tareas Especiales 11/2) técnicas para evitar esta degradación.

El control adaptable de la p.i.r.e. del satélite utilizando antenas de satélite multihaz puede ser otra forma útil de mejorar la disponibilidad del servicio, especialmente en los países con una elevada densidad de precipitación. El Anexo 2 ofrece una descripción de este enfoque.

Se prevé que la TVAD del SRS en 17 y 21 GHz tenga que hacer frente a una gran atenuación en la mayoría de los países. Los criterios de disponibilidad del servicio deben analizarse en el contexto de los valores previstos de atenuación y de las correspondientes estrategias de reducción.

Es necesario continuar estudiando el tema de la disponibilidad del servicio y las nuevas tecnologías de reducción.

## 7 Escenarios de una futura utilización de la banda de 21 GHz

Tal como se menciona en la introducción, la atribución de la banda de 21 GHz al SRS se ha efectuado recientemente en la CAMR-92.

Como consecuencia de ello, es difícil presentar por el momento escenarios integrales para la futura utilización de esta banda, teniendo en cuenta además que la atribución sólo será plenamente efectiva en abril de 2007.

En Europa y Japón se está trabajando actualmente sobre varios proyectos de investigación (por ejemplo, el HD-SAT en Europa) para hacer frente a ciertos retos técnicos de la explotación de la banda de 21 GHz y prepararse para la entrada en funcionamiento de los SRS de TVAD y de radiodifusión digital de servicios integrados (RDDSI) en esa banda con calidad de estudio (banda ancha de RF). Uno de los objetivos principales del proyecto HD-SAT es responder a los requisitos de servicio establecidos en el § 5. En junio de 1995, se hizo una demostración pública del proyecto HD-SAT donde se observó que puede ofrecer transmisiones en directo de TVAD de alta calidad digital a través de un enlace por satélite en la banda de 30/20 GHz. Las señales de sonido e imagen fueron codificadas y decodificadas por el método MPEG-2 en tiempo real. Se logró en la demostración una degradación progresiva aplicando el concepto de modulación de dos capas a una versión de TVAD y de TVDC del mismo programa, respectivamente. La interconexión con la distribución por cable y la emisión terrenal de la TVAD también fue parte de la presentación en directo. En la demostración, que fue muy convincente, se comprobó que, en principio, es posible desde un punto de vista técnico ofrecer un SRS de TVAD digital con calidad de estudio en la banda de 30/20 GHz (véase el Anexo 3). Además, se ha estudiado una hipótesis de misión por satélite para Europa, llegándose a la conclusión de que sería posible realizar una cobertura del centro de Europa con una p.i.r.e. de aproximadamente 55 dBW (véase el Anexo 5).

Japón prevé lanzar en 1997 un satélite experimental COMETS (Communication and Broadcasting Engineering Test Satellite) que incluye una misión en banda de 21 GHz para desarrollar nuevos sistemas de radiodifusión que incluyen la RDDSI. La anchura de banda de los transpondedores en 21 GHz del COMETS será de 120 MHz (máximo). La potencia de salida será de 200 W y el número de haces será de 2 (se supone que para dar cobertura a todo Japón se necesitan 6 haces). Un objetivo de desarrollo a largo plazo de Japón son también los nuevos servicios de radiodifusión con velocidad de datos elevada que sirvan para la televisión de muy alta definición y las representaciones tridimensionales.

El UIT-R ha elaborado un amplio Informe sobre la radiodifusión de TVAD por satélite en esta banda (Informe UIT-R BO.1075) y está trabajando sobre conceptos flexibles de planificación para este servicio. Tras finalizar el proyecto RACE HD-SAT, que incluye estudios realizados por la RAI sobre posibles estrategias de gestión del espectro, ya se encuentran disponibles los primeros resultados que se presentan detalladamente en el Anexo 4. Los parámetros principales serán la máxima dfp admisible y el máximo nivel de interferencia aceptable expresado en términos de reducción de balance del enlace.

Mientras que en un próximo futuro, Europa introducirá la televisión digital multiprograma por satélite («multivisión»), la TVAD digital es un concepto a más largo plazo que puede exigir un acceso desde el primer momento a la banda de frecuencias de 21 GHz únicamente si se prevé la imagen con calidad de estudio. En cualquier caso, la nueva banda puede no sólo contribuir a asegurar el futuro de la radiodifusión por satélite, sino también el de la industria de televisión de consumidor.

Actualmente parece prematuro establecer la utilización y los aspectos reglamentarios de esta banda. La finalización de varios proyectos en curso actualmente, fundamentalmente el proyecto COMETS, contribuirá sin duda alguna a perfeccionar las hipótesis de utilización y planificación de la banda de 21 GHz.

## 8 Proceso de normalización

Es necesario definir el servicio y los parámetros clave correspondientes para obtener la eficacia máxima al utilizar la nueva atribución de frecuencias.

Se sabe que la órbita geostacionaria es un recurso limitado. También es conocido que la mejor forma de obtener una máxima eficacia en la utilización del recurso órbita-espectro es la realización adecuada de los sistemas con un cierto nivel de uniformidad entre sus parámetros fundamentales.

La implementación de los sistemas de TVAD de banda ancha avanzará cuando se hayan acordado los objetivos del servicio entre las organizaciones de radiodifusión, los operadores principales del SRS y la industria.

Para ello, será necesario evaluar todos los elementos que contribuyen a establecer una caracterización completa de los sistemas del SRS de TVAD, tales como:

### *Objetivos del servicio:*

- calidad de servicio;
- fiabilidad del servicio.

### *Características del sistema:*

- factores de propagación;
- codificación en la fuente de las señales de TVAD de banda ancha;
- modulación y codificación del canal;
- características del sistema de recepción;
- tecnología del satélite y de la estación terrena.

### *Gestión del espectro:*

- procedimientos para la utilización flexible de esta banda (enlaces ascendente y descendente);
- anchura de banda total necesaria para cada servicio;
- relaciones de protección;
- compartición con los servicios fijo y móvil.

Los resultados de los proyectos de investigación que actualmente se llevan a cabo en Europa y Japón con miras a la apertura de la banda de 21 GHz para radiodifusión por satélite de la TVAD de banda ancha y la RDSI multiservicio constituirán la base sobre la que determinar los parámetros técnicos mencionados.

## 9 Aplicaciones especiales

Las aplicaciones especiales pueden exigir normas de transmisión que sean distintas de las utilizadas habitualmente. Para acontecimientos especiales, puede emplearse el periodismo electrónico por satélite (SNG) en el servicio fijo por satélite (SFS). Además, puede haber ocasiones en que convenga enviar la señal directamente al satélite del SRS en lugar de hacerlo a través de un estudio.

Algunas terminales SNG no funcionan con velocidades binarias de 140 Mbit/s, sino con otras inferiores tales como 68 ó 34 Mbit/s, o aún menores. Es necesario continuar estudiando la forma en que puede darse cabida a estas aplicaciones especiales en el entorno de la TVAD del SRS. El Grupo de Trabajo (GT) 4/SNG examina actualmente estos aspectos.

## 10 Enlaces de conexión

Aunque en la CAMR-92 se trató de establecer una atribución mundial para los enlaces de conexión, no se llegó a dicho resultado. La banda de 17,3-18,1 GHz está disponible para los enlaces de conexión de la TVAD del SRS. Esta banda se comparte con otros servicios, incluyendo los enlaces de conexión de los planes de la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para la radiodifusión por satélite (Ginebra, 1977) (CAMR SAT-77) y la Conferencia Administrativa Regional para la planificación del servicio de radiodifusión por satélite en la Región 2 (Ginebra, 1983) (CARR SAT-83). Las condiciones de compartición imponen limitaciones a la utilización flexible de esta banda para los enlaces de conexión asociados al SRS de TVAD. La banda de 18,1-18,4 GHz puede utilizarse para los enlaces de conexión aunque no está disponible en algunos países. En las Regiones 2 y 3, también está disponible la banda de 24,75-25,25 GHz. La actual banda de 27,5-30,0 GHz del SRS puede utilizarse mundialmente, pero se ha de compartir con sistemas del SRS.

### BIBLIOGRAFÍA

Todos los puntos mencionados se tratan en los trabajos de investigación (véase por ejemplo, [Tszuku y otros, 1993; Dosch, 1994; Palicot y Veillard, 1993]).

COMINETTI, M. y otros [verano de 1992] EBU demonstrations of wideband digital HDTV satellite broadcasting technologies at WARC-92. *EBU Tech. Rev.*, **252**, Ginebra, Suiza.

DOSCH, Ch. [verano de 1994] Inter-operability of digital HDTV satellite broadcasting (21.4-22 GHz) with the existing and future media infrastructure. Status of the HD-SAT project. *EBU Tech. Rev.*, **260**, 51-63.

MERTENS, H. – Spectrum and planning aspects for digital HDTV satellite broadcasting in [UER, 1992].

PALICOT, J. VEILLARD, J. [1993] Possible channel, coding and modulation system for the satellite broadcasting of a high-definition television signal. *Signal Processing: Image Communication* 5, 463-471.

TSUZUKU, A. FUKUCHI, H. y otros [6-9 de septiembre de 1993] Advanced satellite broadcasting experiment using Japan's R&D satellite COMETS. Proc. 23rd European Microwave Conference (EUM'93), Madrid, España, 110-112).

UER [febrero de 1992] Técnicas avanzadas para la radiodifusión por satélite de la TVAD digital en frecuencias próximas a 20 GHz. Documentos diversos sobre los conceptos de la TVAD digital de banda ancha. Publicación de la UER con ocasión de las demostraciones de tecnologías de radiodifusión por satélite de TVAD de banda ancha efectuadas en la CAMR-92 de la UIT (Málaga-Torremolinos, 1992), Ginebra, Suiza.

### ANEXO 1

## Posibles métodos de codificación y modulación para mejorar la disponibilidad del SRS de TVAD digital

### 1 Introducción

La CAMR-92 atribuyó la banda de 21,4-22,0 GHz al SRS de TVAD en las Regiones 1 y 3 y la banda de 17,3-17,8 GHz en la Región 2. Debido a los niveles intensos de atenuación atmosférica en estas bandas de frecuencia y en la banda de 12 GHz del SRS en los países tropicales, las técnicas digitales convencionales que presentan características pronunciadas de avería con interrupción pueden no ser adecuadas para dar la disponibilidad del servicio necesaria sin exceder los límites de dfp en condiciones de cielo despejado.

En este Anexo se consideran nuevos enfoques de codificación para mejorar la disponibilidad de los SRS de la TVAD digital.

Con los enfoques avanzados que se describen en este Anexo se logra una degradación progresiva del servicio de TVAD durante los desvanecimientos pronunciados debidos a la lluvia; este comportamiento es muy similar al de los sistemas analógicos que tiene buena aceptación entre los espectadores de televisión. La mayoría del tiempo, es decir, durante

el 99% del mes más desfavorable, el servicio da una calidad normal de TVAD, mientras que durante los desvanecimientos intensos debidos a la lluvia, el receptor da una calidad normal de radiodifusión de televisión y/o una calidad de TVDR (véase la Nota 1).

NOTA 1 – En Europa y en Estados Unidos de América se realizan también estudios sobre el concepto de degradación progresiva basándose en la modulación por capas para la emisión terrenal de señales de TVAD, a fin de adaptar el servicio a las distintas condiciones de recepción (por ejemplo, receptores fijos y portátiles). En el caso de la TVAD del SRS, el concepto de modulación por capas ofrece una mayor continuidad del servicio para caso de desvanecimientos debidos a precipitaciones elevadas más que para la recepción opcional de señales de televisión de resolución inferior.

## 2 Ejemplos de enfoque de modulación por capas

### 2.1 Ejemplo 1

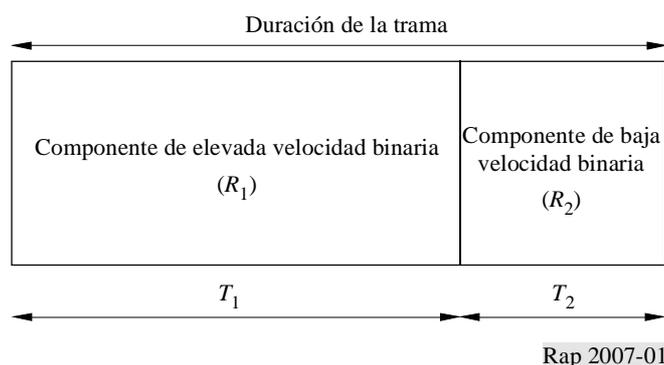
Este ejemplo se basa en un múltiplex en el tiempo de la señal de RF que combina diversos tipos de modulación [Palicot y Veillard, 1993a].

Los enfoques conceptuales de codificación/modulación giran en torno a una trama (véase la Fig. 1) que consta de dos partes:

- Parte 1 ( $R_1$ ): Componente de TVAD con señal de elevada velocidad binaria de duración  $T_1$ ;
- Parte 2 ( $R_2$ ): Componente de TVDC con señal de baja velocidad binaria de duración  $T_2$ .

FIGURA 1

Múltiplex temporal de los componentes de elevada y baja velocidad binaria



La señal  $R_2$  de baja velocidad binaria se asocia a una codificación de canal y una modulación que son más resistentes en presencia de ruido que la codificación del canal y la modulación asociadas a la señal de alta velocidad binaria.

Durante periodos de atenuación atmosférica intensa, el receptor pasa automáticamente del componente de TVAD al componente de TVDC convencional. El criterio de conmutación puede estar relacionado con la potencia recibida o con la BER del componente de TVAD. Para una potencia determinada transmitida por el satélite, este enfoque permite ampliar la continuidad del servicio y de ahí, reducir el tiempo de interrupción de éste.

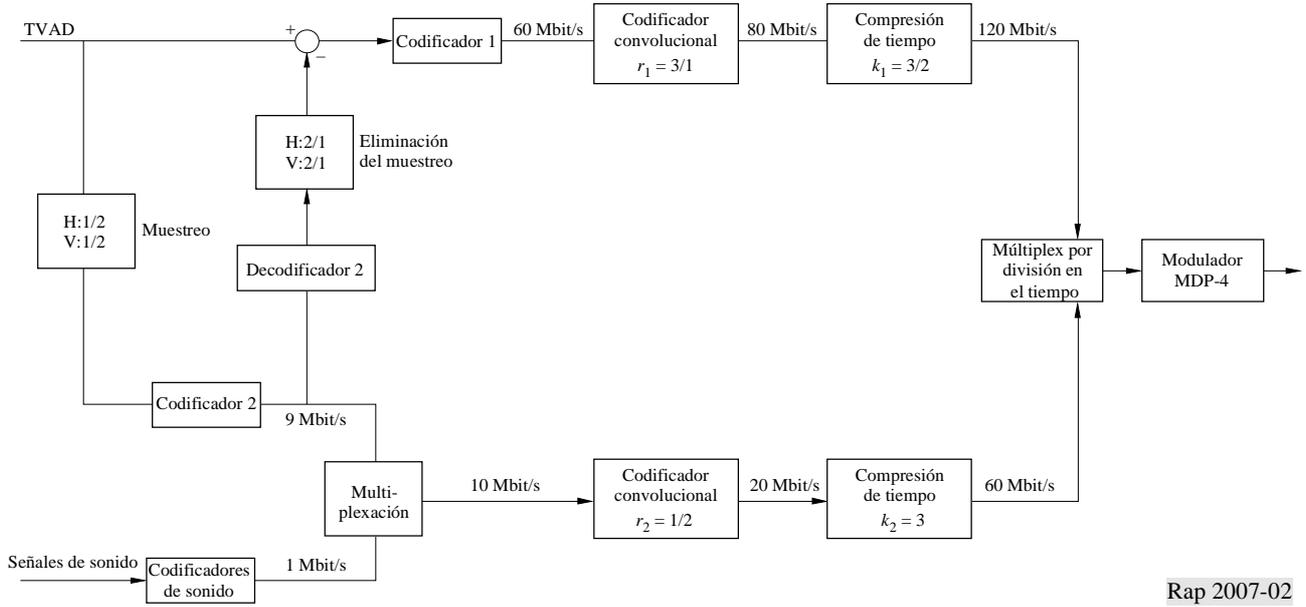
En el extremo de transmisión (Fig. 2), se muestrea la señal TVAD y se obtiene una imagen compatible de 625 líneas que se aplica al codificador 2. El componente residual (diferencia entre la entrada de TVAD y la salida del codificador 2 localmente decodificada) se codifica en el codificador 1. Este esquema permite reducir la velocidad de datos transmitidos o incrementar la parte de la velocidad de datos atribuida al componente de imagen en el múltiplex.

En el extremo de recepción (Fig. 3), se deshace el muestreo (H:2/1, V:2/1) a la salida del decodificador 2 y la información resultante se combina con la salida del decodificador 1, reconstruyendo toda la imagen de TVAD.

Para comparar los enfoques descritos con un sistema de referencia (dicho sistema utiliza una sola velocidad binaria), se supone que la velocidad binaria después de la codificación de la señal de TVAD es la misma para un codificador convencional y para un codificador compatible.

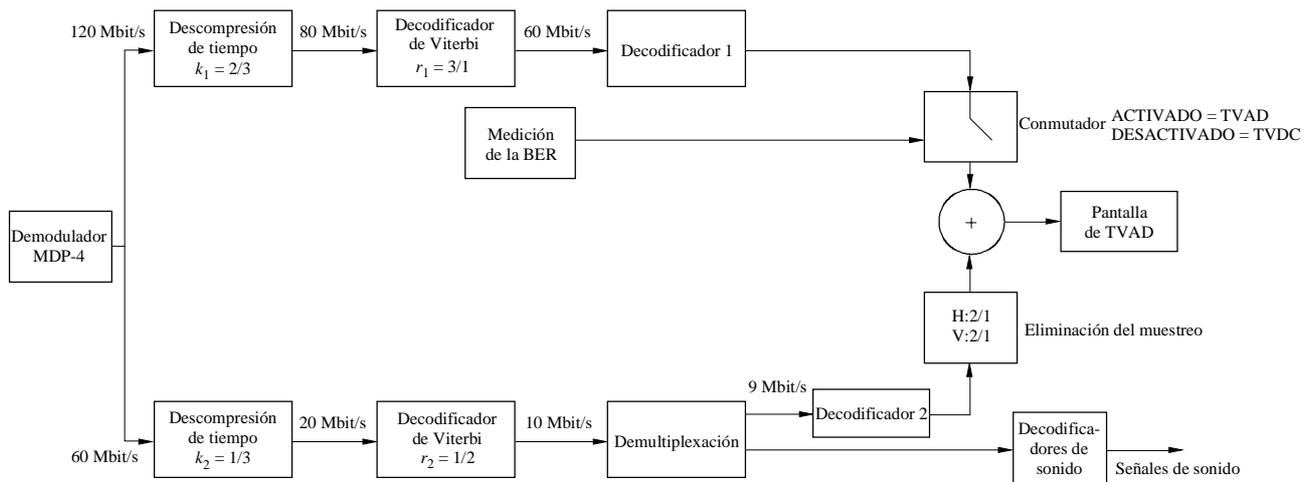
La Fig. 4 muestra las características de fallo en un ejemplo compatible, comparándolo con el sistema de referencia [Palicot y Veillard, 1993b]. Esta Figura muestra un efecto de histéresis al conmutar entre dos calidades de servicio para evitar una conmutación excesivamente frecuente.

FIGURA 2  
Ejemplo de codificación compatible y esquema de modulación



Rap 2007-02

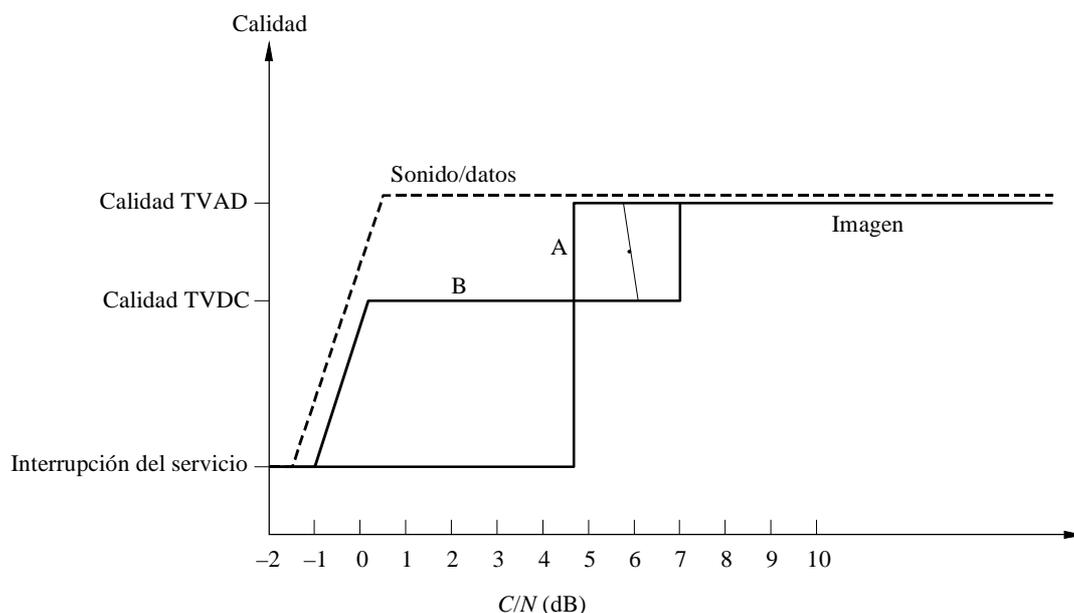
FIGURA 3  
Ejemplo de decodificación compatible y esquema de demodulación



Rap 2007-03

FIGURA 4

Calidad de la imagen y el sonido en función de la  $C/N$ : Comparación de las características de fallo del ejemplo de codificación compatible con las del sistema de referencia



A: sistema de referencia (velocidad binaria única)  
B: ejemplo de codificación compatible

Rap 2007-04

## 2.2 Ejemplo 2

Este ejemplo muestra un enfoque de modulación por capas con tres de ellas [Tsuzuku y otros, 1993]. Dicho de otra manera, en este ejemplo se puede ver la degradación progresiva con tres grados.

En relación con la codificación en la fuente, la información de TVAD se divide en tres trenes de datos digitales conforme al principio mostrado en el ejemplo 1. Por ejemplo, los trenes de datos son un componente con calidad de magnetoscopio, un componente de diferencia entre la calidad de TVDC y de magnetoscopio y un componente de diferencia entre la calidad de TVAD y de TVDC. Estos tres trenes de datos se transmiten por el método de modulación jerárquica indicada a continuación.

El principio de esta modulación jerárquica es controlar la distancia Euclídea del símbolo. En la Fig. 5a) se representa la constelación de la MDP-8 normal. No obstante, la inmunidad ante el ruido puede cambiarse tomando una distancia diferente entre cada símbolo. La Fig. 5b) muestra un ejemplo de la constelación de la modulación MDP-8 jerárquica. El símbolo MDP-8 puede transferir 3 bits y cada uno de ellos tiene una inmunidad distinta respecto al ruido mediante una distancia Euclídea diferente.

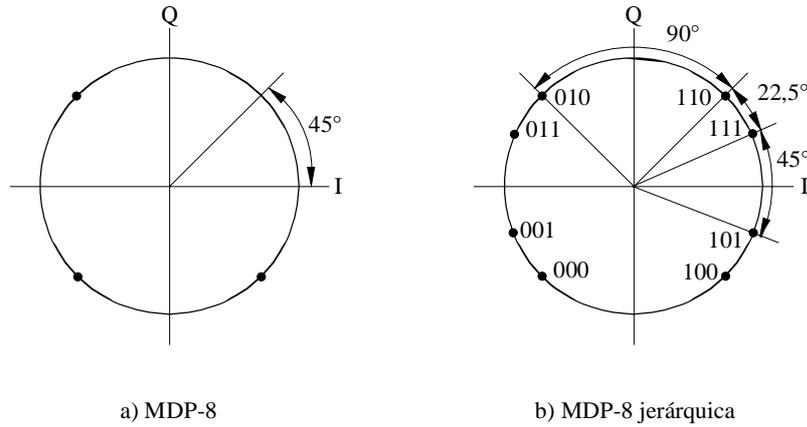
Las características de la BER de la modulación jerárquica indicadas en la Fig. 5b) se derivan de forma teórica. Los resultados se representan en la Fig. 6. La BER del primer bit es la misma que la de la MDP-4; el segundo bit es casi el mismo que el de la MDP-8 normal y el tercer bit es casi igual al de la MDP-16. Para una BER requerida de  $10^{-4}$  (antes de la corrección de errores), la Fig. 7 representa la eficacia de utilización de frecuencia en función de la relación  $C/N$ . Usando esta modulación cuando la relación  $C/N$  es superior a 22,6 dB, se pueden transferir datos 1,5 veces más que con la MDP-4.

## 2.3 Ejemplo 3

En los § 3 y 4 del Anexo 3 se muestra un nuevo ejemplo de modulación por capas con tres de ellas.

FIGURA 5

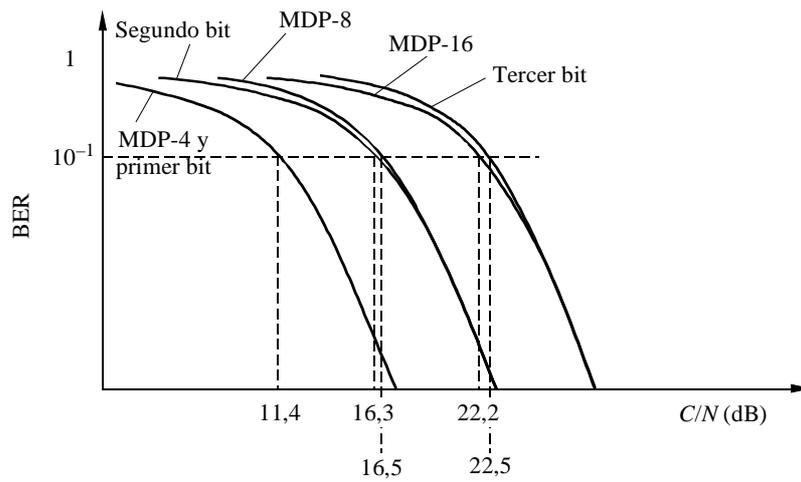
Principio de la degradación progresiva mediante modulación MDP-8 jerárquica



Rap 2007-05

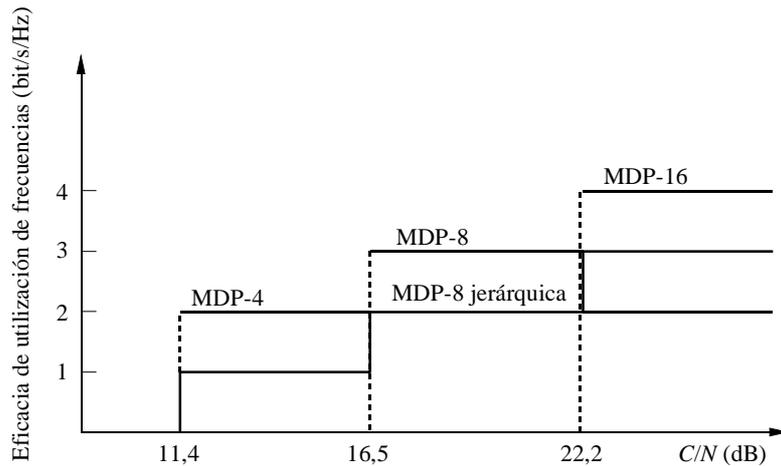
FIGURA 6

Características de BER de la MDP-8 jerárquica



Rap 2007-06

FIGURA 7  
Utilización de frecuencias en la MDP-8 jerárquica



Rap 2007-07

### 3 Característica de los desvanecimientos debidos a la lluvia intensa

Los sistemas digitales presentan características de fallo rápido, por lo que los perfiles de desvanecimientos debidos a la lluvia intensa afectan a la disponibilidad del servicio del sistema.

La Fig. 8 muestra ejemplos de desvanecimientos de la  $C/N$  debidos a la lluvia intensa en 22 GHz. Estos perfiles se estiman utilizando un perfil de caída de la  $C/N$  medido a 12 GHz en Tokio, con el satélite de radiodifusión japonés BS-3 y el método descrito en el Informe 721 del ex CCIR. En las Figuras se muestran las características de desvanecimiento rápido y profundo en la banda de 21 GHz.

Las líneas de las Figuras correspondientes a la interrupción del servicio se calculan a partir de los datos descritos en el ejemplo 1 del § 2.1. Como parámetro de transmisión se supone una p.i.r.e. del satélite de 70 dBW con una antena de recepción de 45 cm de diámetro y un factor de ruido de 2,0 dB. El tiempo de interrupción del servicio estimado a partir de la Figura se indica en el Cuadro 2.

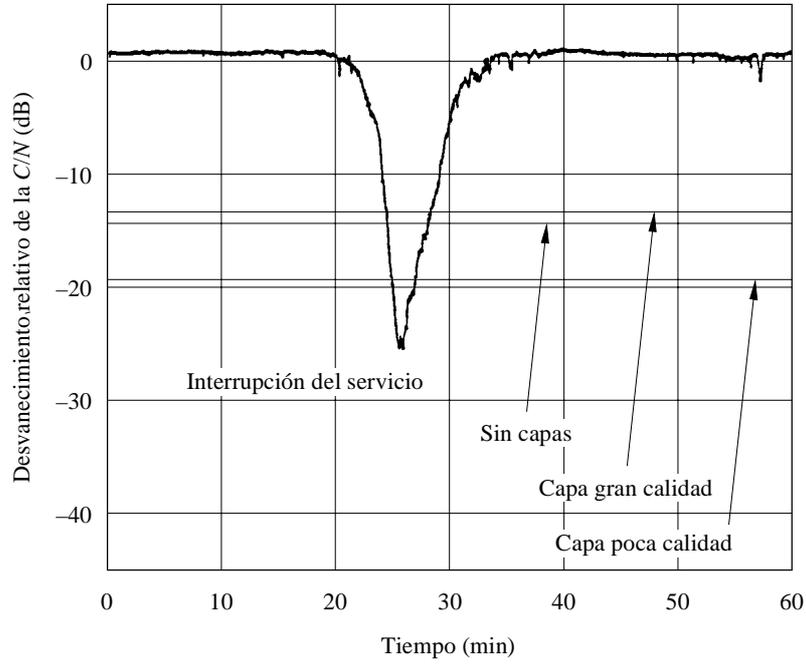
CUADRO 2

Tiempo de interrupción del servicio en una transmisión por capas y sin capas basado en los ejemplos de las Figs. 8a) y 8b)

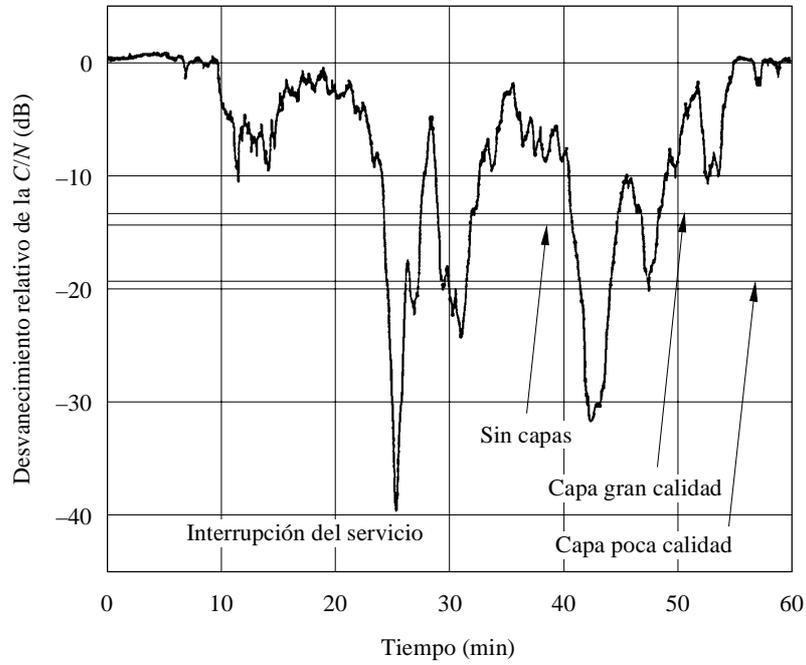
Ejemplo	Esquema	Tiempo de interrupción del servicio (min)	Tiempo de interrupción respecto al de sistemas sin capas (%)
a) Caso de tormenta	Sin capas	3,6	—
	Por capas (capa gran calidad)	4,0	111
	Por capas (capa poca calidad)	2,0	56
b) Caso de tifón	Sin capas	11,4	—
	Por capas (capa gran calidad)	12,5	110
	Por capas (capa poca calidad)	7,1	62

FIGURA 8

Ejemplos de desvanecimiento de la C/N debido a la lluvia en 22 GHz



a) Caso de tormenta



b) Caso de tifón

Para los espectadores de la TVAD, por ejemplo, incluso una breve interrupción del servicio puede perturbar seriamente una escena atractiva y excitante. Por tanto, aunque es importante evaluar la continuidad del servicio en condiciones de atenuación debida a la lluvia con porcentajes de tiempo acumulativos, el detalle de los perfiles de desvanecimientos debidos a la lluvia es mucho más importante al considerar la disponibilidad del servicio. La radiodifusión digital debe tener unas características excelentes, mucho mejores que las de la actual radiodifusión de televisión en MF.

Hay que señalar que la eficacia de la modulación por capas depende en gran medida del margen disponible en el balance del enlace para el servicio de gran calidad. La modulación por capas puede mejorar significativamente la disponibilidad del servicio, aceptando un nivel inferior de calidad de éste durante los periodos de precipitación elevada, si el margen del balance del enlace de gran calidad es relativamente pequeño (por ejemplo, 3 a 4 dB), es decir para potencias de transmisión del satélite limitadas y/o pequeñas antenas de recepción en hogar. Si el margen del balance del enlace de gran calidad es bastante grande, por ejemplo, de 10 a 15 dB, debido a la utilización de valores elevados de p.i.r.e. del satélite y/o grandes antenas de recepción en hogar, la mejora de continuidad del servicio debida a la segunda (y, si es el caso, a la tercera capa) es relativamente pequeña, porque la atenuación debida a la lluvia aumenta exponencialmente para pequeños porcentajes acumulativos de tiempo.

#### 4 Resumen

Los métodos descritos constituyen ejemplos de la forma de aumentar la continuidad del servicio utilizando un concepto de modulación por capas junto con una codificación de la imagen y del canal por capas. Se están investigando otras variantes de este enfoque principal. Puede ya deducirse, no obstante, que por medio de esta técnica puede ampliarse la continuidad del servicio al 99,9%, o más, del mes más desfavorable en zonas de clima moderado, sin necesidad de aumentar la potencia de transmisión del satélite, reduciendo la calidad del servicio, en condiciones de atenuación intensa, de la de alta definición a la de televisión normal o de definición limitada. En los países que se caracterizan por tormentas (tropicales) de gran intensidad, puede ser necesario adoptar medidas adicionales tales como la de control de la p.i.r.e. (véase el Anexo 2) para llegar a dicha continuidad del servicio elevada. El servicio sonoro de gran calidad nominal debe preservarse, incluso en condiciones de desvanecimientos intensos y el sonido debe fallar únicamente después de que haya fallado la imagen.

Los conceptos descritos en este Anexo requieren estudios adicionales. Por ejemplo:

- Efectos de la compensación precisa mediante el enfoque de modulación por capas utilizando un perfil de precipitaciones práctico.
- Parámetros de disponibilidad eficaz del servicio y valor umbral de la  $C/N$  para cada capa.
- Efectos de la lluvia intensa y frecuente en tifones, etc., y en condiciones de lluvia persistente intensa.
- Complejidad del modulador y disminución de la eficacia de utilización del espectro debida a la transmisión por capas.
- Desarrollo de un demodulador estable en un entorno de  $C/N$  reducida, especialmente para el sincronismo.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- PALICOT, J. y VEILLARD, J. [1993a] Possible channel coding and modulation system for the satellite broadcasting of a high-definition signal. *Image Comm. J.*, Special Issue on «Advances in High-Definition Television», septiembre.
- PALICOT, J. y VEILLARD, J. [1993b] Possible coding and modulation approaches to improve service availability for digital satellite broadcasting at 22 GHz. *IEEE Trans. on Consumer Electron.*, agosto.
- TSUZUKU, A., FUKUCHI, H., OHKAWA, M., OHUCHI y MORIKAWA, H. [6-9 de septiembre de 1993] Advanced satellite broadcasting experiment using Japan's R&D satellite COMETS, Proc. 23rd European Microwave Conference (EUMC'93), Madrid, España, 110-112.

## Método de control adaptable de la p.i.r.e. del satélite para la radiodifusión por satélite en la banda de 21 GHz

### 1 Introducción

En 21 GHz parece difícil implantar servicios de radiodifusión directa por satélite basándose en el concepto de transpondedor convencional que se caracteriza por un único tubo de ondas progresivas (TOP) por canal y para toda la zona de servicio. Para responder a las atenuaciones debidas a la lluvia que son relativamente elevadas en esta banda, habría que incluir en el balance del enlace un margen de potencia demasiado grande.

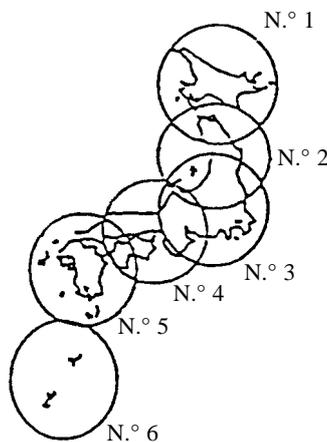
Dividiendo la zona de servicio según haces puntuales, pueden utilizarse TOP de potencia inferior. Además hay métodos que permiten controlar la potencia de transmisión individualmente para cada haz puntual, con lo que se compensan las atenuaciones atmosféricas concentradas localmente.

Este Anexo describe los aspectos técnicos de un método de control adaptable de la p.i.r.e. de un satélite para el SRS en la banda de 21 GHz.

### 2 Principio del método

La zona de servicio queda cubierta por un haz conformado compuesto, por ejemplo, de seis haces, tal como se muestra en la Fig. 9. La potencia de transmisión del satélite para cada haz puede variarse independientemente, dentro del límite de la potencia total. El margen de potencia de este satélite se considera entonces como un recurso común entre los haces. El margen de potencia se distribuye adaptablemente a los haces, según las intensidades de la lluvia en ellos.

FIGURA 9  
Huella de 6 haces  
(ejemplo para Japón)



Rap 2007-09

### 3 Ejemplo del método

Los Cuadros 3 y 4 muestran, respectivamente, ejemplos de parámetros del sistema y del balance del enlace. Cuando el cielo está despejado, el sistema cubre uniformemente toda la zona de servicio y compensa la atenuación gaseosa hasta 3 dB. Cuando llueve en algunas zonas locales, se aumenta constantemente la p.i.r.e. dirigida a estas zonas hasta el valor máximo posible. En el presente ejemplo, pueden compensarse hasta 10 dB de atenuación atmosférica (3 dB mediante el margen incorporado por absorción debida a los gases y 7 dB mediante la variación de la potencia del transmisor, véase el Cuadro 4).

CUADRO 3

## Parámetros teóricos de un sistema de radiodifusión directa por satélite en banda de 21 GHz

Frecuencia	21,4 ~ 22 GHz
Antena receptora en el hogar	45 cm de diámetro
Factor de ruido del conversor en el hogar	1,5 dB
Tiempo de servicio disponible	99% del mes más desfavorable
Relación $C/N$ total requerida <sup>(1)</sup>	10 dB
Velocidad binaria utilizable	78,336 Mbit/s <sup>(2)</sup>
Modulación	MDP-4 con código convolucional 3/4
Velocidad binaria <sup>(3)</sup>	104,448 Mbit/s
Anchura de banda de Nyquist	52,224 MHz
Nº de canales/satélite <sup>(4)</sup>	3
BER requerida	$10^{-8}$

(1)  $E_b/N_0 = 5,2$  dB, degradación del demodulador = 2 dB; interferencia = 1 dB.

(2) Imagen: 70 Mbit/s; sonido: 2 Mbit/s; datos: 1,421 Mbit/s; FEC: 4,915 Mbit/s (FEC: RS(255,239)).  
FEC: corrección de errores en recepción.

(3) Múltiplo entero de la velocidad binaria básica de 2,048 Mbit/s.

(4) Con las limitaciones de potencia eléctrica y disipación térmica.

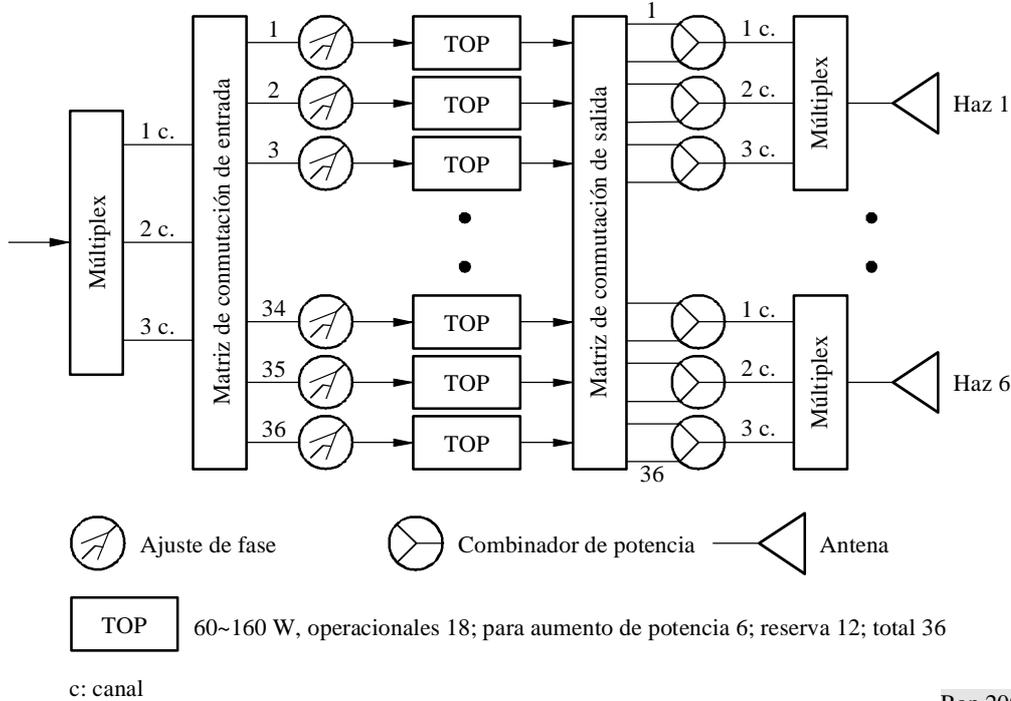
CUADRO 4

## Ejemplo de balance de enlace en Tokio

Parámetros del satélite	Cielo despejado	Lluvia
Frecuencia de la portadora (GHz)	22,0	
Potencia del transmisor (W)	60	320
Ganancia de la antena transmisora (dBi)	47	
Pérdidas del alimentador (dB)	-4	
p.i.r.e. (dBW)	60,78	68,05
Factores de propagación		
Pérdidas en el espacio libre (dB)	-210,87	
Atenuación gaseosa (dB)	-3,14	
Atenuación debido a la lluvia (dB)	0	-6,73
Sistema de recepción		
Diámetro de la antena (cm)	45	
Eficacia de la antena (%)	70	
Pérdidas debidas al error de puntería (dB)	-1,0	
Temperatura de ruido de la antena (K)	144,12	233,21
Factor de ruido del convertidor (dB)	1,5	
Temperatura ambiental (°C)	24,9	
Temperatura de ruido equivalente (K)	122,89	
Anchura de banda de ruido (Nyquist) (MHz)	52,224	
$C/N$ en el enlace descendente (dB)	11,69	10,98
$C/N$ en el enlace de conexión (dB)	30	
$C/N$ total (dB)	11,63	10,93

La Fig. 10 muestra un diagrama de bloques teórico de este sistema de transpondedor con p.i.r.e. variable.

FIGURA 10  
Diagrama de bloques del sistema de transpondedor con p.i.r.e. variable



Rap 2007-10

El aumento de la p.i.r.e. se logra aumentando la potencia de salida de los amplificadores de tubos de ondas progresivas (ATOP) y con un funcionamiento en paralelo de dos de ellos. Tal como se indica en la Fig. 10, para un haz puntual determinado, se conecta directamente un ATOP a un alimentador de antena a través del multiplexor y no se utiliza red de conformación del haz. Por tanto, las pérdidas son pequeñas y la gran potencia no se concentra en un punto.

Deben tenerse en cuenta las características espaciales de la lluvia al introducir el método de control adaptable de la p.i.r.e. Con arreglo a la observación real de la lluvia, las zonas en que se producen precipitaciones intensas tienden a ser menores que el ancho del haz de los satélites de radiodifusión. Las zonas de precipitación pueden estar distribuidas ampliamente no sólo en un haz, sino también a lo largo de varios haces.

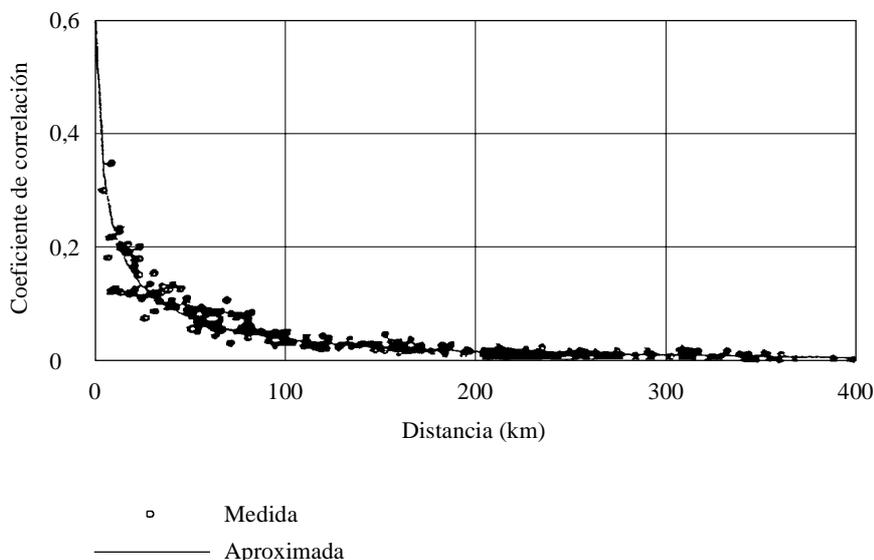
La Fig. 11 muestra ejemplos de coeficientes de correlación espacial de la lluvia en Inglaterra [Fukuchi, 1988]. Puede verse que casi no hay correlación de la lluvia en zonas distantes respecto a un emplazamiento de medición. En consecuencia, el método de control de la p.i.r.e. sólo es eficaz en las proximidades del emplazamiento de medición. Para lograr una reducción eficaz de la atenuación intensa debido a la lluvia en la banda y mejorar el control, los observatorios deben situarse en zonas pobladas. De no ser así, se requieren datos de emplazamientos de medición en zonas de concentración densa para lograr una auténtica mejora de la eficacia del método de control adaptable de la p.i.r.e.

#### 4 Resumen

Este Anexo presenta un sistema de transpondedor con p.i.r.e. variable adaptablemente para un SRS nacional en la banda de frecuencias de 21 GHz. Con este método es posible lograr imágenes de gran calidad y una continuidad del servicio elevada aumentando la potencia de transmisión a zonas afectadas por desvanecimientos debidos a lluvias de gran densidad.

FIGURA 11

**Dependencia con la distancia de separación de los coeficientes de correlación entre los índices de precipitación en dos emplazamientos (símbolo: medida, línea: aproximada)  
Tiempo de integración (5 min)**



Rap 2007-11

Utilizando ATOP múltiples con potencia más limitada y el concepto de antena de haz puntual, puede montarse un sistema de transpondedor fiable y realizable por lo que se refiere a fuente de energía eléctrica y disipación del calor [Shogen y otros, 1992 y 1993], con los sistemas básicos de satélite disponibles en la actualidad.

Los temas indicados a continuación se dejan para ulteriores estudios:

- Antena multihaz.
- TOP ligero con capacidad de variación de potencia.
- Técnicas para combinar la potencia de RF.
- Combinación con la técnica de degradación progresiva.
- Consideración no sólo de la disponibilidad temporal del servicio, sino también de la disponibilidad espacial.
- Comportamiento del método de control de la p.i.r.e. en condiciones de precipitaciones locales intensas, tales como las de las tormentas.
- Establecimiento de los emplazamientos de medición óptimos y estrategia detallada de funcionamiento del control de la p.i.r.e.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

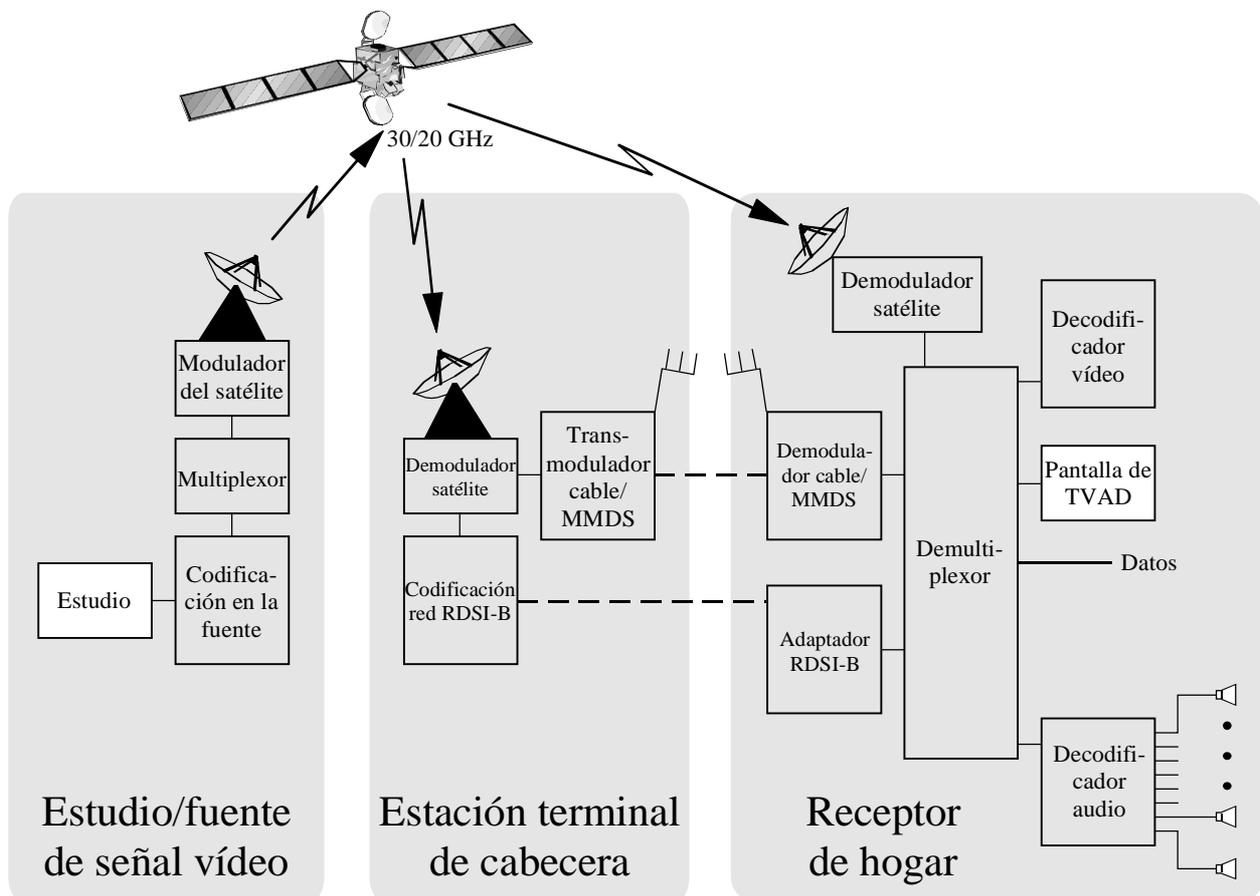
- FUKUCHI, H. [1988] Spatial correlation properties of rainfall rate in UK. *IEE Proc.*, Vol. 135, Pt. H, 83-88.
- SHOGEN, K., NISHIDA, H. y MORISHITA, Y. [1992] A study on variable e.i.r.p. system for 21 GHz global broadcasting satellite. *Proc. of 18th ISTS*, 1587-1594.
- SHOGEN, K., NISHIDA, H. y MORISHITA, Y. [1993] A variable e.i.r.p. system for 21 GHz band broadcasting satellite. *Proc. 1993 MWE*, 285-289.

## Esquemas de codificación eficaz en anchura de banda y de modulación para aplicaciones de TVAD de banda ancha para transmisión por satélite y por redes de cable

### 1 Introducción

HD-SAT [1] es un proyecto de investigación de cuatro años (de 1992 a 1995) que se financia conjuntamente por los socios participantes y la Comisión Europea (DG XIII), formando parte del programa RACE II. El proyecto HD-SAT tiene como objetivo estudiar, desarrollar y demostrar la viabilidad de una cadena completa de radiodifusión basada en la transmisión por satélite a 30/20 GHz que pueda llegar a dar la TVAD con calidad de estudio virtual al usuario final en su domicilio, junto con sonido multilingüe/multicanal. El sistema HD-SAT incluye el enlace ascendente del estudio al satélite, la recepción directa-hogar desde el satélite y una distribución secundaria a través de redes terrenales que incluyen el cable y el sistema de distribución multipunto por micro-ondas (MMDS, *multipoint microwave distribution system*), así como las redes integradas de comunicación en banda ancha que se están desarrollando actualmente. La Fig. 12 muestra la arquitectura general del sistema HD-SAT.

FIGURA 12  
Arquitectura general del sistema HD-SAT



Rap 2007-12

A continuación se describe una propuesta de «esquemas de codificación eficaz en anchura de banda y de modulación para aplicaciones de TVAD en banda ancha para transmisión por satélite y redes de cable» que contiene los elementos principales siguientes:

- un resumen de la caracterización básica del servicio HD-SAT;
- una introducción a la degradación progresiva en la banda Ka (banda en 30/20 GHz) para la continuidad del servicio;
- un ejemplo de sistema de tres capas;
- una introducción a los aspectos de interfuncionamiento considerados en el proyecto y, en particular, el «concepto de receptor común» y la «interoperabilidad con las redes de cable».

## 2 Caracterización del servicio

En el proyecto HD-SAT los requisitos del servicio y las caracterizaciones se han determinado a partir de los estudios de requisitos de usuario que incluye los resultados de una amplia encuesta distribuida entre los operadores de satélite, las entidades de radiodifusión terrenal y los operadores de red de cable europeos.

A continuación figura un resumen de la caracterización básica del servicio HD-SAT:

- disponibilidad del servicio del 99,6% (del mes más desfavorable);
- calidad máxima posible en el formato de TVAD (calidad de estudio virtual);
- cobertura europea;
- pequeña antena (60-90 cm) de recepción directa-hogar;
- servicio con calidad plena al usuario final a través de cable y de redes MMDS.

## 3 Continuidad del servicio – degradación progresiva en la banda Ka

La utilización de la banda de frecuencias de 20 GHz para la transmisión por satélite debe hacer frente de forma eficaz a las condiciones adversas de propagación en estas bandas que se caracterizan por desvanecimientos intensos debidos a la lluvia y despolarización atmosférica. Un aspecto clave es la continuidad del servicio para la que se adoptan nuevas soluciones que implican la modulación del canal por capas, lo cual permite lograr una «degradación progresiva» en condiciones atmosféricas deterioradas.

Al contrario de la degradación gradual observada en los sistema analógicos, en la televisión digital es posible pasar de una recepción prácticamente sin errores a una pérdida completa del funcionamiento del decodificador de imagen en una gama de menos de 1 dB de degradación de la relación  $C/N$  (efecto «muro»). Previendo los medios para la recepción de imágenes de calidad inferior en condiciones de recepción deterioradas, la degradación progresiva digital puede permitir lograr una continuidad mayor del servicio.

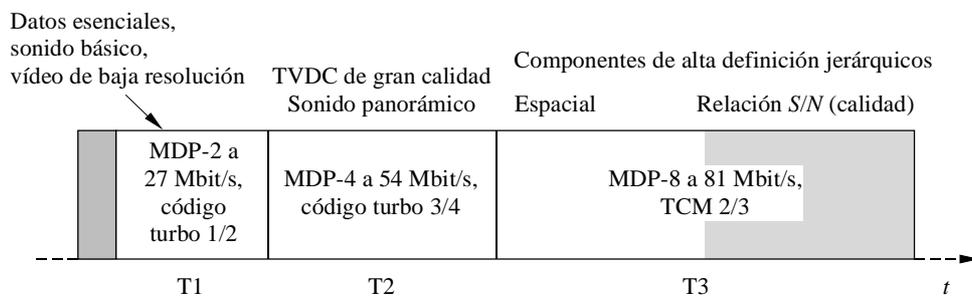
El objetivo de un esquema adecuado de modulación en el satélite es el de utilizar la mínima potencia en éste y una antena de receptor en hogar de tamaño reducido, logrando una continuidad del servicio del 99,6% del mes más desfavorable en Europa.

El módem de satélite para degradación progresiva del HD-SAT se ha diseñado utilizando el concepto de multiplexación en el tiempo de la modulación que ofrece una jerarquía de valores de  $C/N$  necesaria para obtener una buena demodulación. De esta forma, cuando las condiciones de propagación se degradan, las capas de modulación que requieren los valores superiores de  $C/N$  se «pierden», mientras que las capas más robustas continúan recibéndose. El sincronismo del módem se simplifica manteniendo la misma velocidad de símbolos (27 MBd/s) para cada una de las capas de modulación.

La Fig. 13 ilustra la «trama» de modulación para una realización de tres capas.

FIGURA 13

### Ejemplo de codificación de canal jerárquica



T1: código turbo 1/2

T2: código turbo 3/4 o «código convolucional y Reed-Solomon»

TCM: modulación de código reticular

Al elegir, por ejemplo, la relación T1:T2:T3 = 1:3:6, las velocidades binarias correspondientes serán 2,7 Mbit/s para T1, 16,2 Mbit/s para T2 y 48,6 Mbit/s para T3, lo que da una velocidad binaria bruta total de 67,5 Mbit/s.

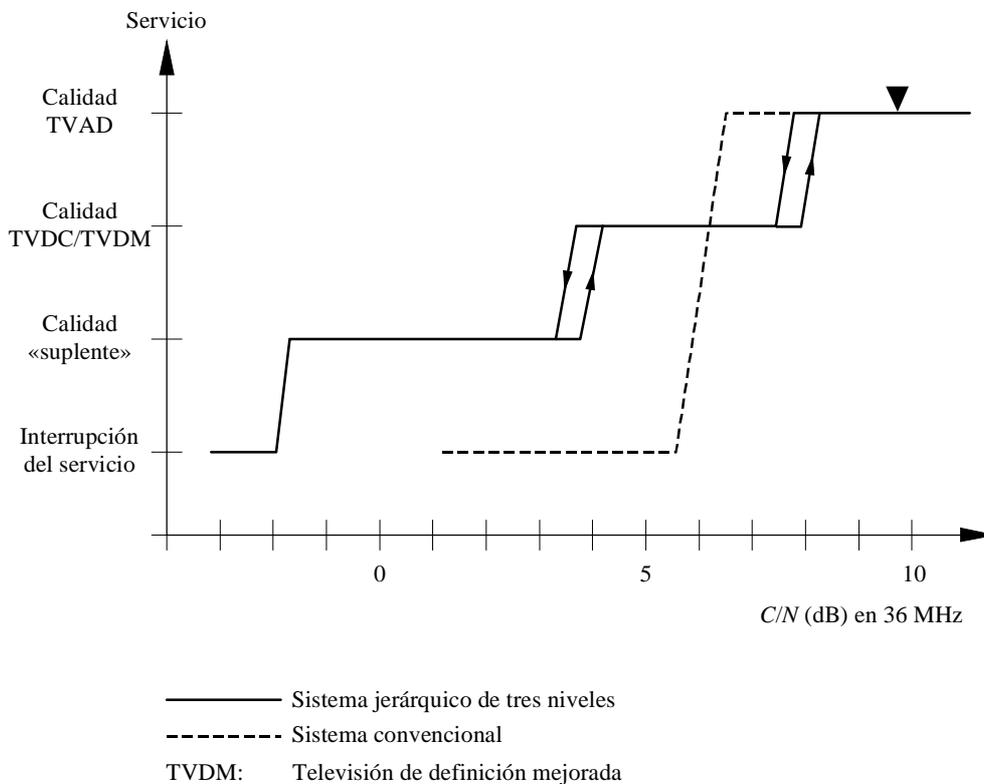
Se selecciona la modulación MDP-8 combinada con la codificación de convolución reticular como esquema apropiado para lograr la eficacia espectral máxima (o al menos «robusta») de la jerarquía de modulación HD-SAT. Otros esquemas inferiores incluyen la MDP-4 con código turbo o un esquema clásico de código convolucional con Reed-Solomon concatenado, para un nivel intermedio de servicio y la MDP-2 para el modo de servicio suplente de bajo nivel.

La codificación turbo utiliza procesos repetitivos con una realización eficaz de circuitos de concatenación de códigos. Es especialmente eficaz con velocidades de código relativamente reducidas. Los resultados de la codificación turbo aplicados a la MDP-4 en el proyecto HD-SAT muestran una ganancia de codificación significativa, un alto grado de independencia de las curvas de caída y una buena eficacia de transmisión (al no necesitarse un código exterior FEC) en un canal de satélite no lineal. En estas condiciones, las características de la codificación del canal se acercan mucho al límite de Shannon.

Se propone un esquema de modulación que permite aproximadamente 12 dB de atenuación entre el punto de funcionamiento nominal con cielo despejado para la TVAD y una pérdida completa del servicio, como solución viable. De estos 12 dB, 9 dB provienen del propio funcionamiento de la degradación progresiva, y los 3 dB restantes del margen del punto de funcionamiento de una antena de receptor de hogar «nominal».

La Fig. 14 representa un gráfico del servicio HD-SAT en función de la  $C/N$  recibida que ilustra el funcionamiento y las características de la degradación progresiva.

FIGURA 14

Valores de la relación  $C/N$  en la codificación de canal jerárquica

## 4 Codificación de la imagen (MPEG-2) y atribución de las capas de modulación

El sistema HD-SAT utiliza la codificación MPEG-2 (perfil elevado en alto nivel) y la multiplexación, que entre otras funcionalidades ofrece las dos facetas claves siguientes:

- ponderabilidad espacial y de la relación SNR;
- compatibilidad descendente.

La definición del códec y la función del módem de degradación progresiva del satélite están íntimamente relacionadas. La atribución de los componentes adecuados del códec a la capa de modulación definirá los servicios HD-SAT con degradación progresiva.

El sistema de tres capas indicado a continuación se elige principalmente por su amplia gama de disponibilidades de servicio para condiciones de propagación que van desde las moderadas a las intensamente degradadas, así como por sus posibilidades de interfuncionamiento con otros sistemas y medios.

CUADRO 5

### Características de las capas

1ª capa	Datos esenciales, sonido e imagen de definición reducida	Por ejemplo, 1,5 Mbit/s
2ª capa	Sonido e imagen de TVDC normal de «buena» calidad y datos adicionales	Por ejemplo, 10 Mbit/s
3ª capa	Primera subcapa: complemento de datos jerárquicos espaciales para lograr la calidad TVAD	Por ejemplo, 15 Mbit/s
	Segunda subcapa: complemento de información adicional con SNR ponderable para lograr la calidad TVAD de estudio virtual	Por ejemplo, 20 Mbit/s

## 5 Aspectos de interfuncionamiento

### 5.1 Concepto de receptor común

El interfuncionamiento entre los medios y los formatos de televisión puede ser factible de forma económica utilizando el concepto de receptor común (véase la Fig. 15) que permite a un usuario final recibir programas y servicios con una gran variedad de medios, utilizando un demultiplexor, un decodificador de fuente y una pantalla comunes. Para cada medio explotado este receptor común utiliza el adaptador/decodificador de canal adecuado que da el formato del tren de transporte MPEG-2 común a la entrada del multiplexor.

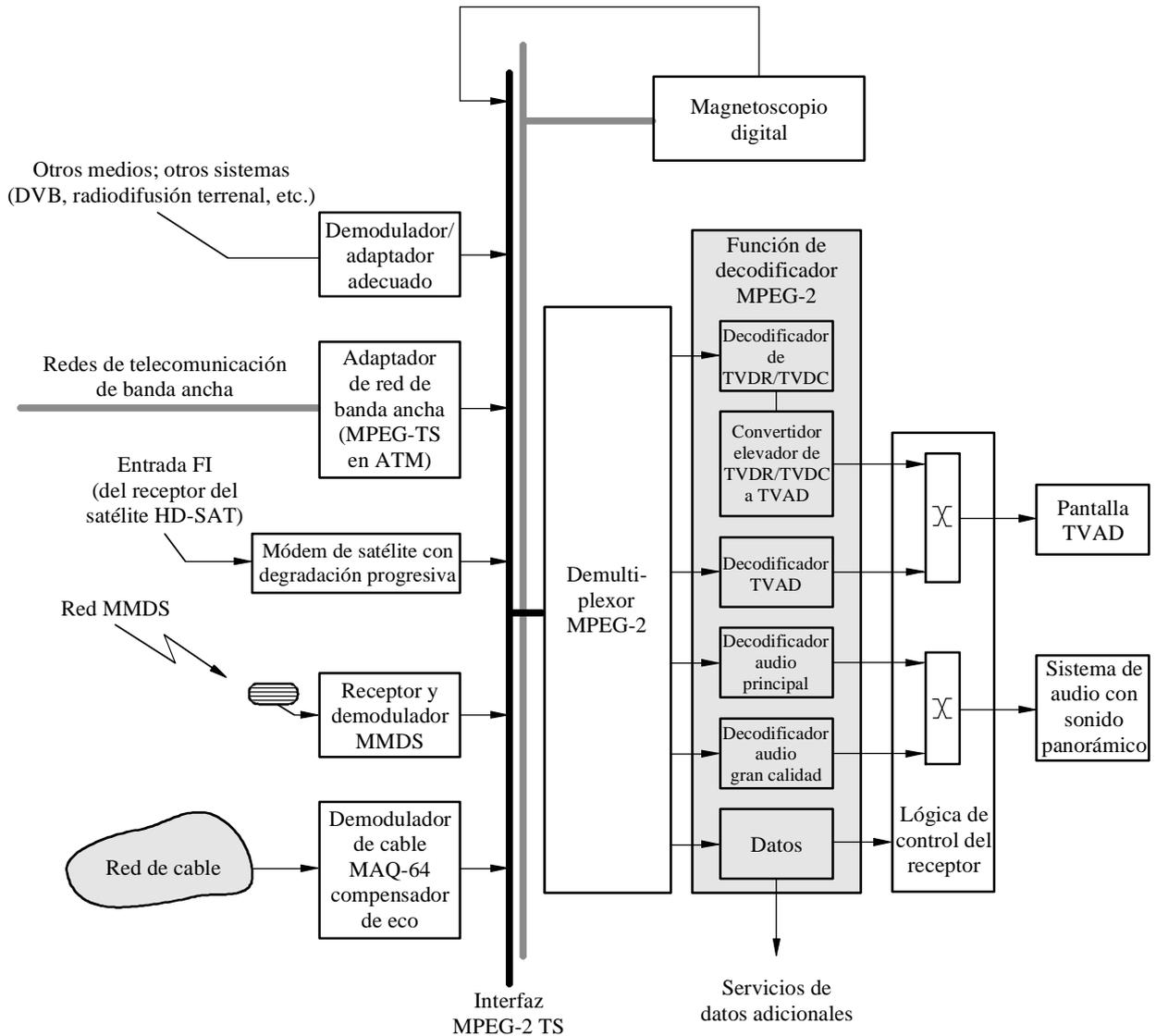
### 5.2 Interoperabilidad con las redes de cable

Las características del canal de una red de televisión por cable coaxial son muy distintas de las del transpondedor del satélite. En particular, no es necesario prever la degradación progresiva en el canal de cable.

En la cabecera del cable se ha de efectuar la adaptación del tren de transporte HD-SAT MPEG-2 para optimizar la utilización de la anchura de banda del cable. El tren de transporte HD-SAT MPEG-2 básico contiene necesariamente algunos componentes adicionales para la continuidad del servicio suplente que no se utilizan en la realización con degradación progresiva.

A estos efectos, se coloca un transmultiplexor MPEG-2 entre el demodulador del satélite y el modulador del cable. El transmultiplexor MPEG-2 es de hecho una «central» MPEG-2 que acepta uno o varios trenes de transporte MPEG-2 en las entradas y da uno o varios trenes de transporte MPEG-2 a la salida. El transmultiplexor es programable para poder redistribuir los componentes y los programas, lo que en esta aplicación significa un filtrado de los componentes innecesarios.

FIGURA 15  
Arquitectura del receptor común HD-SAT



ATM: Modo de transferencia asíncrono  
DVB: Radiodifusión digital de señales de vídeo

Rap 2007-15

La estación de cabecera de cable se configura de forma que no se aplica el funcionamiento en modos de degradación progresiva. Aumentando el tamaño de la antena en un factor aproximadamente de cuatro respecto a la de recepción directa-hogar, la continuidad del servicio TVAD es la misma o mejor que la continuidad del servicio general para el receptor directo-hogar que aplica la degradación progresiva. El tamaño de la antena resultante para la cabecera de cable sería del orden de 2,5 m. Se señala además que el aumento adicional en la disponibilidad de servicio que se obtendría utilizando los modos de degradación progresiva con estas condiciones de antena mayor, es despreciable.

Tratando de lograr el máximo de elementos comunes con el sistema propuesto por DVB, en el proyecto HD-SAT se está desarrollando la transmisión en MAQ-64 para el cable, que da una capacidad de 45 Mbit/s de velocidad de datos del canal en 8 MHz.

## 6 Demostración del sistema de soporte físico

Durante la exposición técnica y el Simposio Internacional sobre sistemas de televisión de Montreux, 9-14 de junio de 1995, se efectuó una demostración pública de toda la cadena de radiodifusión del sistema HD-SAT. En este punto se indica la configuración, el funcionamiento y los resultados de dicha demostración, que tuvo un gran éxito presentando una realización concreta, convincente y en funcionamiento real de lo que puede lograrse de una cadena de radiodifusión de TVAD digital basada en la banda de frecuencias de 30/20 GHz.

### 6.1 Consideraciones generales sobre la configuración del sistema de demostración

En su definición de sistema genérico, HD-SAT ha especificado un sistema con tres capas de modulación en el canal de satélite y una codificación de televisión MPEG-2 de cuatro capas, incluida la codificación jerárquica tanto espacial como de la relación SNR para la TVAD y la TVDR adicional. En la especificación definitiva de la implementación, debe llegarse a un compromiso para determinar el subconjunto de esta funcionalidad que debe realizarse para un sistema operativo.

La configuración de la demostración se definió como un subconjunto de la realización genérica que, más allá de consideraciones pragmáticas sobre desarrollo de soporte físico de la demostración necesarios, debe en cualquier caso demostrarse suficiente. No obstante, no debe suponerse que la configuración de la demostración corresponde a la especificación definitiva de un sistema operativo, en cuanto a velocidades binarias utilizadas, número de capas de la codificación y de transmisión, potencia del satélite y cobertura, etc.

Cabe señalar que la exposición de Montreux se celebró conjuntamente con un segundo proyecto RACE, el de radiodifusión de televisión terrenal digital (DTTB, *digital terrestrial television broadcasting*). El aspecto mixto de esta demostración permitió obtener datos muy significativos sobre las posibilidades de interfuncionamiento entre HD-SAT y otros sistemas y medios. Sin embargo, este punto se concentra en el segmento de satélite del sistema HD-SAT en la banda de frecuencias de 30/20 GHz.

En la Fig. 16 aparece un diagrama de bloques de la configuración de las cadenas de radiodifusión HD-SAT de la exposición de Montreux.

Las componentes de los programas de televisión (imagen y sonido) están codificadas utilizando la norma MPEG-2, y a continuación, multiplexadas en un solo tren de transporte MPEG que se hizo llegar a los usuarios finales mediante la cadena de transmisión, que depende del medio. La función de interoperabilidad entre el satélite y las redes terrenales se lleva a cabo en la cabecera del cable.

A la salida de la cadena de transmisión, el tren de transporte recibido se demultiplexa y se decodifican las componentes del programa. La utilización de la especificación del tren de transporte MPEG-2 soporta el concepto «receptor común» en el cual un solo aparato receptor y monitor de televisión puede recibir programas a través de distintos medios de transmisión.

### 6.2 Degradación progresiva: configuración de la demostración

#### 6.2.1 Continuidad del servicio en la banda de frecuencias de satélites 30/20 GHz

Uno de los retos fundamentales para el proyecto HD-SAT es asegurar una elevada disponibilidad del servicio (continuidad) en la banda de frecuencias de satélites Ka que es bien conocida por sus características de atenuación debida a la lluvia. Un esquema de modulación por capas permite la transmisión a una alta velocidad binaria en la capa menos robusta (en condiciones de cielo despejado), utilizándose velocidades binarias más bajas en las sucesivas capas menos robustas. La calidad de servicio recibida viene determinada por la capa más elevada que puede demodularse con éxito. De esta forma, durante los desvanecimientos debidos a la lluvia el servicio no se interrumpe de manera abrupta sino paulatina. Aunque también se han estudiado esquemas de nivel más elevado en el proyecto HD-SAT, la configuración escogida para la realización en la exposición de Montreux es el esquema de dos niveles representado en la Fig. 17. Suponiendo un margen de 3 dB en el balance de enlace en condiciones de cielo despejado se dispone de una gama dinámica de aproximadamente 12 dB antes de que se produzca la interrupción total del servicio.

FIGURA 16  
Configuración de la demostración del sistema HD-SAT

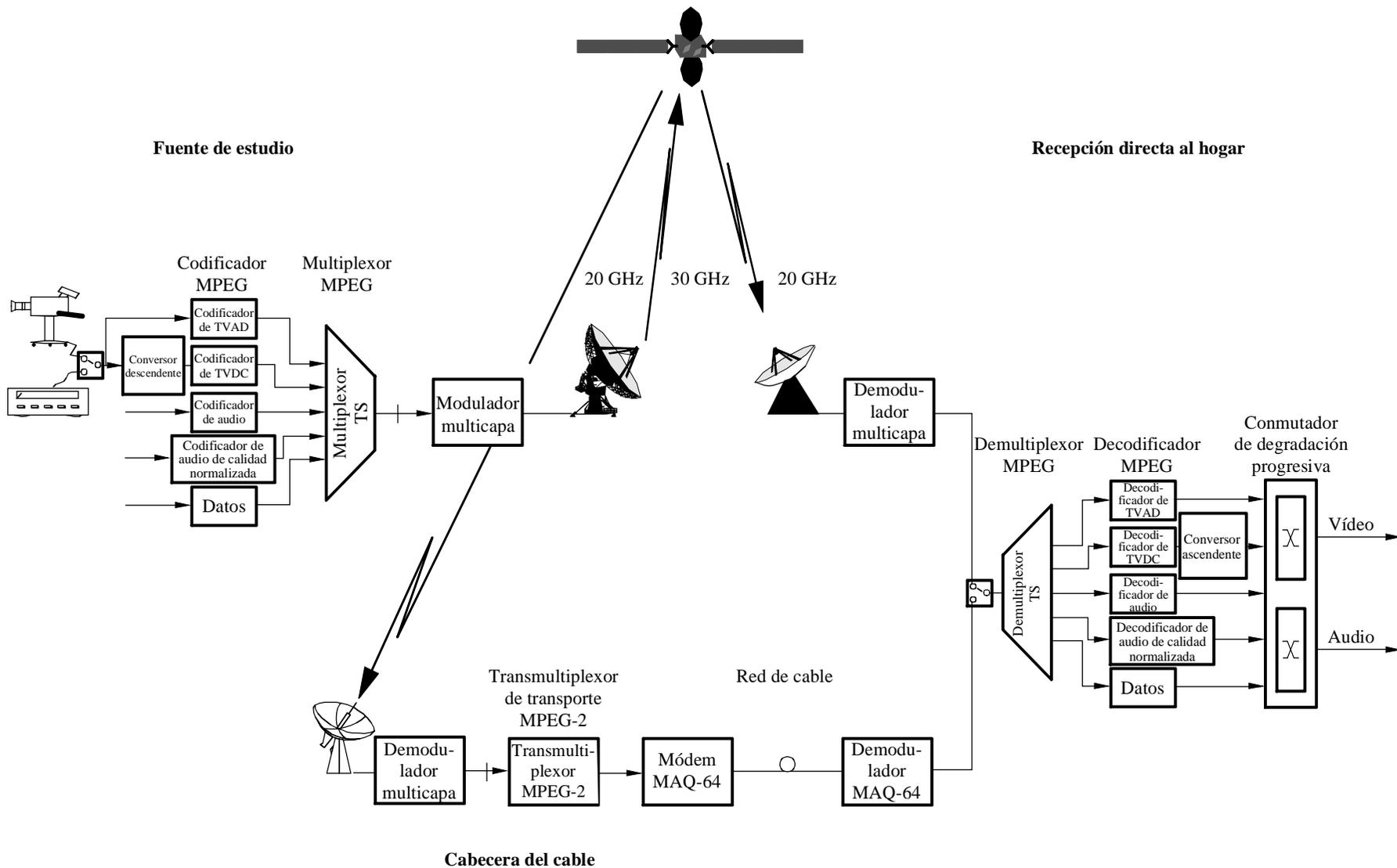
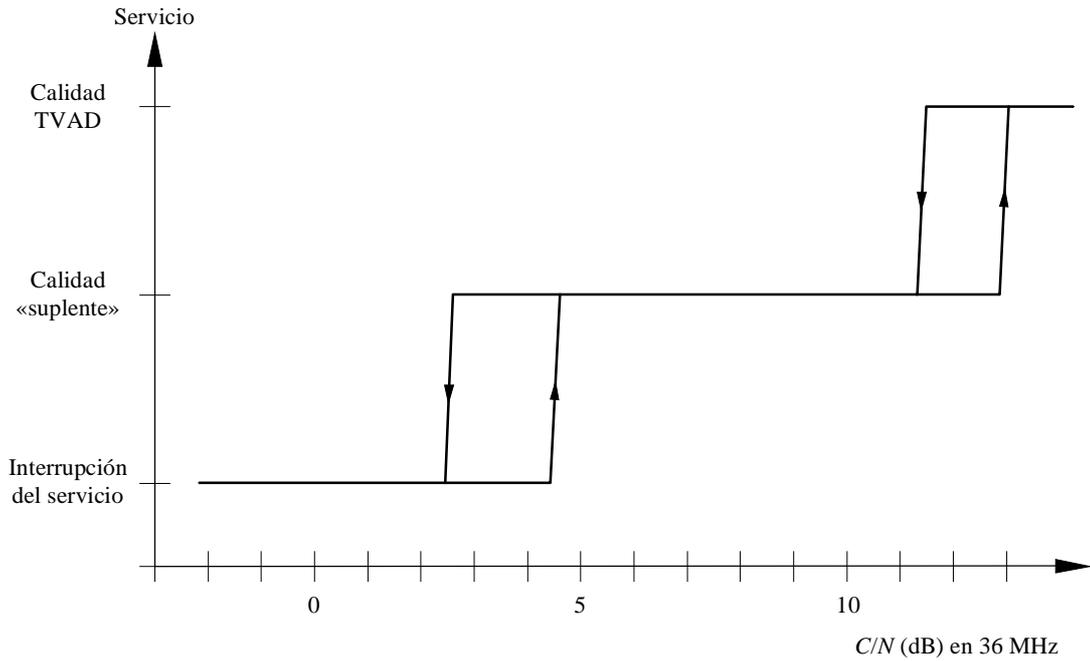


FIGURA 17

Característica de la degradación progresiva en un canal de satélite en la banda de frecuencias de 30/20 GHz (configuración de la demostración de Montreux)



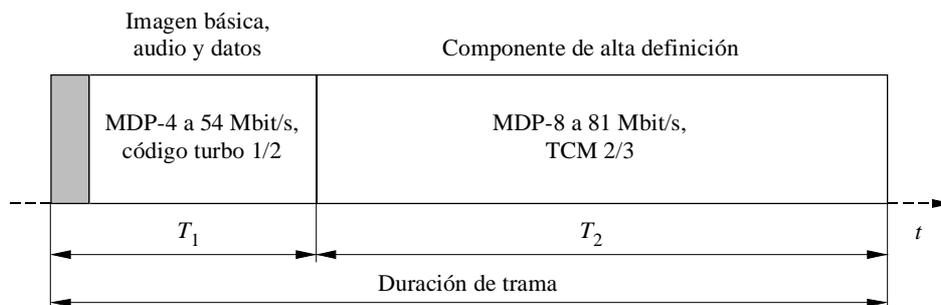
Rap 2007-17

En este esquema de dos capas, se selecciona la modulación MDP-8 combinada con la codificación de convolución reticular; como esquema adecuado para la capa con la eficacia espectral más elevada (pero con la menor robustez). Para que la capa inferior asegure el servicio suplente robusto se utiliza MDP-4 con codificación turbo, que ha sido objeto de simulaciones exhaustivas para probar su eficacia.

En la Fig. 18 se representa la «trama» de modulación para una realización de dos capas.

FIGURA 18

Codificación de canal por capas de dos niveles (configuración de la demostración de Montreux)



Rap 2007-18

A continuación aparece un resumen de los parámetros utilizados en la configuración de la demostración del módem de satélite con degradación progresiva:

#### *Transmisión por satélite*

- Banda Ka (DFS-1 KOPERNIKUS): enlace ascendente a 29,58 GHz, enlace descendente a 19,78 GHz.
- Módem con degradación progresiva multiplexado en el tiempo con dos capas.
- 27 Msímbolo/s en una anchura de banda de 36 MHz.
- Modulación MDP-4 durante T/6:
  - velocidad binaria instantánea: 54 Mbit/s;
  - codificación de canal = código turbo (turbo3) de índice 1/2;
  - velocidad binaria instantánea útil antes de la codificación: 27 Mbit/s.
- Modulación MDP-8 durante 5T/6:
  - binaria velocidad binaria instantánea = 81 Mbit/s;
  - codificación de canal = codificación de retícula de índice 2/3 con codificación Reed-Solomon concatenada;
  - velocidad instantánea útil antes de la codificación: 54 Mbit/s.

#### *Codificación MPEG-2*

Las funciones del códec MPEG-2 para la configuración de la demostración incluyen:

- TVDC: perfil principal/nivel principal 4:2:0
- TVAD: perfil principal/nivel alto-1440 4:2:0
- sonido estereofónico MPEG-1, y
- sonido panorámico de cinco canales MPEG-2 de Capa II,

todas las cuales se multiplexan en un *único* tren de transporte (TS) MPEG-2 que soporta los modos de degradación progresiva de satélite así como un interfuncionamiento con la red de cable de plena calidad.

En el Cuadro 6 figuran los detalles sobre la composición del tren de transporte de la demostración, incluyendo sus atribuciones respectivas en la capa de modulación con degradación progresiva del satélite.

CUADRO 6

Capa de modulación	Contenido	Velocidades binarias (carga útil neta)
MDP-4 con código turbo	Imagen de TVDC con sonido estereofónico	3,9 Mbit/s (vídeo) 192 kbit/s (sonido)
MDP-8 con código de convolución reticular	Imagen de TVAD con sonido panorámico de cinco canales (MPEG-2 de Capa II)	39 Mbit/s (vídeo) 384 kbit/s (sonido)

### **6.3 Interfuncionamiento con el segmento de cable**

La cabecera del cable del sistema HD-SAT recibe la señal del satélite HD-SAT y suministra una calidad completa del servicio TVAD por canal de cable de 8 MHz normalizado.

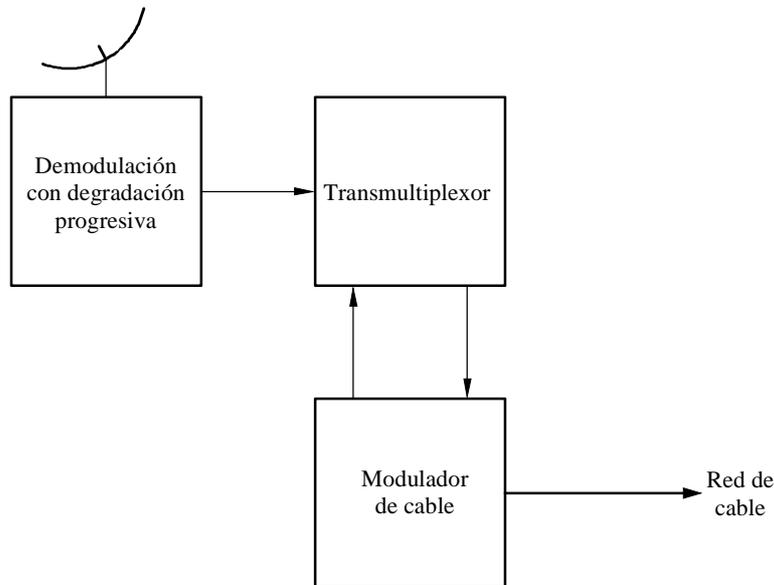
Las funciones de la cabecera del cable primario observadas en la demostración del HD-SAT que tuvo lugar durante la exposición de Montreux de 1995 fueron las siguientes:

- recepción de un MPEG-2 TS como difusión para la recepción directa en los hogares implementando degradación progresiva;
- adaptación de este TS a un programa de TVAD «puro»; y
- remodulación del tren de velocidad binaria inferior utilizando MAQ-64 similar a la DVB para alimentar un canal de 8 MHz de una red de cable local.

El receptor doméstico común demodula y decodifica este canal de cable para presentar la señal TVAD HD-SAT de calidad completa.

Estas funciones se representan de forma esquemática en la Fig. 19.

FIGURA 19  
Representación esquemática de la interfaz de la cabecera del cable del sistema HD-SAT



Rap 2007-19

### 6.3.1 Recepción de la señal del satélite en la cabecera del cable

El esquema de degradación progresiva implementado para HD-SAT permite al usuario final de la recepción directa en los hogares satisfacer los requisitos en cuanto a continuidad del servicio utilizando una pequeña antena parabólica de recepción. Una estación de cabecera del cable, que por definición dará servicio a un cierto número de abonados de cable, no necesita los mismos requisitos en cuanto al tamaño de la antena parabólica. Si se utiliza una parábola mayor que la destinada al usuario final individual se obtiene una continuidad en la recepción del servicio de TVAD mejor que la lograda utilizando degradación progresiva y una antena pequeña. Además, teniendo en cuenta los valores estadísticos previstos y medidos de los sucesos de propagación en la banda de frecuencias de 20 GHz, la mejora en la disponibilidad del servicio obtenida incluyendo la recepción bajo condiciones de degradación progresiva utilizando esta antena de mayor tamaño sería despreciable.

Por estas razones, la recepción de la señal del satélite en la cabecera del cable para HD-SAT se lleva a cabo utilizando una antena de aproximadamente dos metros de diámetro con la que se recibe el programa con la calidad completa de TVAD y una continuidad del servicio que satisface los requisitos.

### 6.3.2 Transmultiplexor MPEG-2

Para el canal de cable, como la anchura de banda está limitada pero no está sujeta a condiciones de transmisión variables, no es necesario implementar una degradación progresiva. Por consiguiente, para la configuración de la demostración, la adaptación del tren de transporte MPEG-2 consiste en la supresión de las componentes de TVDC en el tren de satélite recibido que no son necesarias para generar el servicio TVAD.

Ello supone el reconocimiento y filtrado de los paquetes MPEG-2 basándose en la identificación de paquetes, la gestión de la base de tiempos MPEG-2 y la adaptación a la velocidad binaria de salida.

La versión de demostración del transmultiplexador MPEG-2 incorporaba las siguientes funcionalidades:

- filtrado de paquetes: supresión de las componentes de TVDC y de audio estereofónico;
- traducción de la identificación de paquetes;
- adaptación a la velocidad binaria de salida;
- gestión de la fluctuación de fase de la referencia de reloj del programa.

Se ha determinado que la función del transmultiplexador desempeña un importante papel de interfuncionamiento en el reciente panorama de la televisión digital.

### 6.3.3 Modulación por cable

Uno de los objetivos del proyecto HD-SAT es alinearse, en la medida de lo posible, con las normas nuevas y existentes para la televisión digital en Europa.

El proyecto DVB, que se desarrolló a partir del Grupo para el lanzamiento en Europa de la televisión digital (ELG – European launching group), ha definido un proyecto de norma para el segmento de cable utilizando una MAQ-64 multinivel con canales de 8 MHz.

Como consecuencia de la definición de esta norma, HD-SAT ha preferido reorientar su segmento de cable para que sea lo más próximo posible a la norma DVB. De hecho, todos los aspectos de la norma se respetan, adaptando el factor de decrecimiento, que se reduce a la mitad con respecto al DVB.

Especificación para el módem del cable HD-SAT:

- anchura de canal: 8 MHz
- modulación: MAQ-64
- factor de decrecimiento: 7,5% (más abrupto que en el caso DVB)
- velocidad de símbolos: 7,5 MHz (superior al caso DVB)
- entrelazado: convolucional
- codificación de canal: Reed-Solomon (204,188,  $T = 8$ )
- imbricación: síncrona en 8 paquetes MPEG-2 ( $x^{15} + x^{14} + 1$ ).

Es necesario aplicar un factor de decrecimiento más abrupto para aumentar la velocidad de símbolos dentro de las limitaciones de un canal de 8 MHz de manera que pueda cursar la carga útil a 45 Mbit/s requerida para el tren de transporte TVAD de HD-SAT. Este factor de decrecimiento más abrupto supone un aumento en la característica de equalización, lo cual se ha logrado satisfactoriamente.

Aunque la versión de demostración del módem de cable HD-SAT tuvo éxito a la hora de lograr una característica de factor de decrecimiento de valor superior a la especificación DVB nominal, una solución alternativa para el futuro, basándose en los actuales resultados positivos, sería adoptar uno de los niveles más elevados de MAQ previstos en la especificación DVB (es decir, MAQ-128) para obtener un servicio HD-SAT de calidad completa en un segmento de cable y completamente adaptado a la especificación del segmento de cable DVB. La demostración también probó la adecuada compensación del eco en el cable con equalización de canal «ciega».

## 6.4 Interfuncionamiento con otros sistemas

Si bien tanto el concepto de servicio HD-SAT (TVAD de muy alta calidad) como la banda de frecuencias por satélite utilizada son nuevos, el concepto de sistema modular y la adopción de las normas MPEG-2 y DVB da más oportunidades para el interfuncionamiento con otros medios y sistemas.

La naturaleza conjunta de la exposición celebrada en Montreux fue una prueba muy eficaz de este interfuncionamiento, especialmente con respecto al receptor común utilizado para decodificar y presentar señales de TVDC en TVAD y señales de sonido estereofónico en sonido panorámico en cinco canales, tanto por satélite como por canales terrenales en ondas decimétricas y por la red de cable de Montreux.

## 6.5 Funcionamiento de la demostración

La funcionalidad de la cadena de difusión HD-SAT incluía:

- Generación de un tren de transporte codificado MPEG-2 de una señal de TVAD con componente de TVDC para degradación progresiva.
- Enlace ascendente del tren de transporte a 30 GHz hacia el satélite KOPERNIKUS.

- Recesión por satélite «directa a los hogares» a 20 GHz con decodificación y presentación de TVAD implementando degradación progresiva (a calidad de TVDC).
- Recepción en la cabecera del cable con transmultiplexión MPEG-2 para adaptar el tren de transporte al medio de cable (supresión de las componentes «suplentes» con degradación progresiva).
- Recepción por cable de la TVAD de plena calidad utilizando el mismo decodificador y pantalla que para la recepción directa en los hogares.

Esta demostración de gran complejidad exigió una complicada infraestructura y un gran número de equipos. En efecto, la instalación incluía un entorno de radiodifusión completo, con su centro de visualización y su estudio de continuidad. La sala de presentación de 20 asientos contaba con un equipo de proyección de TVAD y un sonido panorámico de cinco canales, así como cuatro monitores de TVDC de formato 16:9 y un monitor de información/subtitulado. Se realizó una presentación cada hora durante los cinco días en que estuvo abierta la exposición: casi todas las sesiones estuvieron completas (en algunas de ellas hubo incluso más público del que cabía), de manera que asistieron a la demostración unas 800 personas.

Toda la demostración era en directo, incluyendo la reconfiguración entre los modos de funcionamiento DTTB y HD-SAT de los codificadores MPEG-2, multiplexores y cadenas de transmisión. Este hecho fue apreciado por la audiencia que gracias a esta espontaneidad, quedó plenamente convencida e impresionada por la naturaleza «viva» de la demostración. La amplia audiencia así como el gran interés mostrado son pruebas concluyentes del éxito y de la alta calidad técnica lograda en esta demostración.

## 6.6 Consecuencias para un sistema operativo

El recurso de satélite utilizado para la demostración fue el transpondedor experimental de 30/20 GHz del satélite DFS-1 KOPERNIKUS de Deutsche Telekom. Como esta carga útil no había sido diseñada específicamente para un sistema de radiodifusión de TVAD digital, y teniendo en cuenta que Montreux se encuentra casi fuera de la zona de cobertura de este satélite, el segmento de satélite para la demostración no podía ser completamente representativo de una aplicación comercial del servicio HD-SAT. Para establecer un balance del enlace representativo de un sistema operativo, se empleó una antena de recepción de televisión únicamente de tamaño ligeramente superior a la utilizada por los usuarios para la recepción directa en los hogares.

No obstante, es posible caracterizar todo el segmento espacial y la oferta de servicio correspondiente a una calidad de recepción por satélite como pudo verse en la demostración de Montreux. En el Anexo 5 aparece un ejemplo que utiliza las hipótesis de potencia del satélite y cobertura supuestas en los estudios para la definición del sistema HD-SAT.

## 6.7 Conclusiones

El proyecto HD-SAT ha demostrado la posibilidad de implantar un sistema de radiodifusión de TVAD digital basado en la recientemente atribuida banda de frecuencias por satélite 30/20 GHz. Las técnicas utilizadas incluyen la adopción de las normas existentes y en evolución (es decir, MPEG-2 y DVB) así como nuevas técnicas innovadoras (degradación progresiva en el satélite, interfuncionamiento satélite/cable e interoperabilidad con los servicios de radiodifusión terrenal). El resultado es un sistema que, si bien proporciona un nuevo servicio (TVAD digital de alta calidad) en una nueva banda de frecuencias por satélite, sigue siendo compatible para el interfuncionamiento con otros sistemas.

En esta demostración de Montreux se comprobaron todas las funciones especificadas en la arquitectura del sistema. La cooperación entre HD-SAT y DTTB en la demostración preparó el camino para la primera demostración de difusión europea de programas de televisión MPEG-2 y TVAD digitales a través de canales por satélites, de cable y terrenales.

El segmento de cable HD-SAT ha demostrado cómo puede utilizarse un módem de cable basado en la norma DVB para lograr velocidades binarias lo suficientemente elevadas en un canal de 8 MHz como para ofrecer la misma calidad elevada que la TVAD digital.

Las realizaciones transmultiplexores y códec/múltiple MPEG-2 en tiempo real y de alta calidad, ejemplos del equipo prototipo desarrollado para las normas existentes, son elementos para los cuales los prototipos de HD-SAT se encuentran entre las primeras implementaciones a gran escala.

El innovador módem de degradación progresiva confirmó mediante la demostración en una cadena de difusión completa que la banda de frecuencias por satélite de 30/20 GHz puede utilizarse para proporcionar la distribución directa en los hogares de TVAD digital de alta calidad, utilizando pequeñas antenas receptoras de satélite y una potencia razonable en el mismo. De esa forma, los estudios teóricos fueron completados por un ejemplo práctico que ha preparado el camino para los desarrollos de sistemas operativos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] El consorcio HD-SAT está compuesto por 12 socios europeos que constituyen un equipo completo en el que se incluyen entidades de radiodifusión, instituciones de investigación e industria: Alcatel Espace – Francia (socio coordinador), Alcatel Italia – Italia, Alenia Spazio – Italia, British Broadcasting Corporation Research and Development Dept. – Reino Unido, Cable Management International Services (CMIS) – Irlanda, Centre Commun d'Etudes de Télédiffusion et Télécommunications (CCETT) – Francia, Institut für Rundfunktechnik (IRT) – Alemania, Northwest Labs. – Irlanda, Radio Televisione Italiana (RAI) – Italia, Télédiffusion de France (TDF) – Francia, Thomson CSF – Francia, University of Salford – Reino Unido y la Unión Europea de Radiodifusión (socio patrocinador).

Otros patrocinadores del HD-SAT son: Deutsche Telekom-Alemania, Telespazio – Italia y Radiotelevision Eireann – Irlanda.

## BIBLIOGRAFÍA

- COMBAREL, L. y LAVAN, E. [junio de 1995] HD-SAT: HDTV satellite cable interworking aspects. 19º Simposio Internacional de Televisión, Montreux, Suiza.
- COMBAREL, L. y OLIPHANT, A. [junio de 1995] The first complete demonstration of digital television broadcasting: The joint demonstration of RACE Projects HD-SAT and dTTb. 19º Simposio Internacional de Televisión, Montreux, Suiza.
- COMBAREL, L. y OLIPHANT, A. [verano de 1995] Digital broadcasting demonstrations by HD-SAT and dTTb at Montreux '95. *EBU Tech. Rev.*
- COMBAREL, L., LAVAN, E., DOSCH, C. y PALICOT, J. [junio de 1995] HD-SAT modems for satellite broadcasting in the 20 GHz frequency band. International Conference on Consumer Electronics (ICCE '95).
- DOSCH, C. [verano de 1993] Digital broadcasting of studio quality HDTV by satellite in the 21 GHz frequency range and by coaxial cable networks. *EBU Tech.Rev.*
- DOSCH, C. [1995] Satellite broadcasting of high-quality digital HDTV in the 20 GHz frequency range and its inter-working with other media services. International Broadcasting Symposium (IBC '95), Tokyo, Japón, 13-15 de noviembre. Proc. IBC '95, Broadcasting and the multimedia age, 325-331.
- DOSCH, C. y LAVAN, E. [1998] Digital HDTV broadcasting by satellite and cable networks with commonality for terrestrial broadcasting. *European Trans. on Telecomm.*, 1.
- DOSCH, C., COMBAREL, L., LAVAN, E. y PALICOT, J. [noviembre de 1995] HD-SAT modems for the satellite broadcasting in the 20 GHz frequency band. *IEEE Trans. on Consumer Electron.*, Vol. 41, 991-999.
- LAVAN, E. y COMBAREL, L. [septiembre de 1994] HD-SAT (RACE 2075): HDTV broadcasting over Ka-band satellite, cable and MMDS. International Broadcasting Symposium (IBC '94), Amsterdam, Países-Bajos.

**Textos de la UIT**

- Doc. 10-11S/TEMP/3-E – HD-SAT contribution to the 21 November-2 December 1994 session of WP10-11S (Draft New Report), (Sub-WP S2), 23 de noviembre de 1994).

## ANEXO 4

**Posible explotación de la banda 21,4-22,0 GHz del SRS para la TVAD****1 Introducción**

La RAI ha emprendido en el seno del proyecto HD-SAT [Comisión Europea, 1995] un estudio detallado a fin de elaborar una posible estrategia de gestión del espectro para la radiodifusión de TVAD en RF de banda amplia en la gama 21,4-22,0 GHz.

Partiendo de las condiciones límite, que deben identificarse para que el nuevo servicio sea atractivo desde el punto de vista comercial, en este Anexo se discute la adopción de parámetros lo más independientes posible de la actual tecnología y se consideran los parámetros propuestos, es decir la separación orbital, la polarización, la dfp y los objetivos de calidad.

## 2 Separación orbital

Es evidente que una optimización de todo el arco orbital necesario para atribuir todas las posiciones orbitales precisas aumenta en gran medida la posibilidad de utilizar eficazmente los recursos, así como la posibilidad de que puedan coexistir las distintas redes de satélites.

En particular, la mínima separación angular entre dos satélites adyacentes que dan servicio a la misma zona con la misma frecuencia y polarización es un factor esencial.

El receptor doméstico no debe tener unos requisitos demasiado estrictos de  $G/T$ , en términos de dimensiones de la antena y factor de ruido del amplificador de bajo nivel de ruido (ABR). Para las aplicaciones HD-SAT se ha considerado razonable utilizar una antena parabólica (o una red plana equivalente) con un diámetro no superior a 90 cm. Se trata de un punto de partida aceptable a efectos de diseño: con esta antena no debe recibirse interferencia perjudicial procedente de satélites situados en posiciones orbitales adyacentes, que posiblemente den servicio a la misma zona de servicio utilizando la misma frecuencia y la misma polarización.

Con respecto al factor de ruido del receptor, cabe señalar que las posibles mejoras de los valores actuales (aproximadamente 2,5 dB) no mejoran de forma significativa el balance del enlace, que depende fundamentalmente de las atenuaciones de propagación que son algunos órdenes de magnitud superiores. Por lo tanto, el factor de ruido del ABR puede despreciarse.

No deben imponerse como parámetros fijos la tecnología de la antena ni las dimensiones de la misma sino un contorno de calidad de funcionamiento bien definido que proporcione la protección necesaria únicamente si la superficie efectiva de la antena es superior a un valor de referencia. Como el contorno afecta fundamentalmente a la utilización de la órbita, la separación orbital representa la primera «decisión variable» que debe utilizarse.

## 3 Polarización

La segunda «decisión variable» es la elección del sistema de referencia de polarización que debe usarse en los enlaces ascendente y descendente.

Los factores que deben considerarse en la elección de la polarización para el SRS se describen en el Informe UIT-R BO.814. En su conclusión, el Informe sugiere la adopción de una polarización circular, debido principalmente a las dificultades que surgen en el alineamiento de la antena receptora doméstica y en el comportamiento de la discriminación por polarización cruzada (XPD) en las antenas de satélite cuando funcionan con polarización lineal.

Actualmente son ampliamente utilizados los receptores domésticos de bajo coste para recepción directa en los hogares en la banda de 11 GHz del SFS con polarización lineal.

El efecto de la despolarización inducido por la atmósfera, en condiciones de propagación desfavorables, aumenta rápidamente con la frecuencia.

La elección del sistema de referencia de polarización que debe utilizarse en los enlaces ascendente y descendente tiene una gran repercusión sobre la posibilidad de reutilización de frecuencias (puede utilizarse el mismo canal para transmitir dos señales distintas dirigidas hacia la misma zona de servicio, utilizando planos de polarización ortogonal). En particular, a partir del modelo de propagación para los enlaces Tierra-satélite basado en valores estadísticos obtenidos a largo plazo (como los que figuran en la Recomendación UIT-R P.618), parece que en la banda de 22 GHz y para un tiempo de disponibilidad del 99,9% del mes más desfavorable es posible reducir el efecto de la despolarización de la onda  $XPD_p$  debido a condiciones de propagación adversas (lluvia y cristales de hielo) pasando de un valor de  $XPD_p$  de 20 dB hasta un valor de 35 dB en el caso de polarización lineal. Cabe recordar que al aumentar  $XPD_p$ , disminuye el correspondiente efecto de despolarización.

Se recomienda la adopción de la polarización lineal debido a la mejora de la XPD que puede obtenerse empleando dicha polarización, hecho que puede constatarse por la experiencia obtenida con receptores domésticos de bajo coste para recepción directa en los hogares en la banda del SFS de 11 GHz. Además, considerando que el enlace ascendente funcionará fundamentalmente en la banda 27,5-30 GHz (salvo en algunos casos que lo hará en la banda 17,3-18,1 GHz), donde la XPD en la propagación es el factor dominante, es obligatorio adoptar la polarización lineal también en el enlace ascendente para minimizar el efecto de despolarización.

## 4 Densidad de flujo de potencia (dfp)

La tercera «decisión variable» es la dfp que radia el sistema de satélites. Normalmente se introducen límites de dfp para resolver unas condiciones de interferencia particulares tales como:

- protección de las redes de satélites que funcionan en la misma banda pero en distintas Regiones;
- protección de servicios a título igualmente primario (por ejemplo, servicios fijos terrenales, servicio fijo) que funcionan en la misma banda de frecuencias, en la misma o en otras Regiones.

En el caso de la banda 21,4-22,0 GHz deben hacerse algunas observaciones:

La CAMR-92 decidió que a partir del 1 de abril de 2007 los servicios existentes (servicio fijo y servicio móvil) en las Regiones 1 y 3 sean autorizados únicamente a explotar esta banda de frecuencias siempre que no causen interferencia al SRS ni reclamen protección contra el mismo. Los límites de dfp se utilizan sólo para procedimientos provisionales relativos a los sistemas del SRS operativos introducidos antes de esa fecha, de acuerdo con la Resolución 33 (Rev.CMR-97) del RR.

También pueden aplicarse límites de dfp para proteger los sistemas terrenales en la Región 2 aunque no cabe esperar interferencia perjudicial puesto que el arco total del SRS en Europa está limitado al mínimo ángulo de elevación posible de aproximadamente 20° para evitar una excesiva atenuación de la propagación.

La máxima eficacia en términos de flexibilidad puede obtenerse únicamente mediante una adecuada implementación de los sistemas de satélites con un cierto nivel de uniformidad en sus parámetros fundamentales. En particular, la red debe estar equilibrada en potencia. En otras palabras, los sistemas de satélites deben respetar una razonable homogeneidad en los valores de dfp y es necesario establecer un límite inferior así como un límite superior para dichos valores.

## 5 Objetivos de calidad y relaciones de protección

La cuarta «decisión variable» viene representada por el máximo nivel de interferencia aceptable, expresado en términos de reducción del balance del enlace.

Debido a la estructura binaria de la información transmitida, la degradación se expresa como un empeoramiento de la característica  $C/N$  del sistema, y por consiguiente, como una reducción de la disponibilidad del servicio.

De hecho, en un sistema digital la interferencia no tiene efecto visible en la calidad de imagen mostrada hasta que la BER alcanza el umbral de visibilidad. La presencia de una interferencia da lugar entonces a una degradación de la BER del sistema en función de la característica  $C/N$ .

Para poder tratar la interferencia como una reducción de la relación  $C/N$  equivalente (es decir, la interferencia actúa como un ruido gaussiano con la misma potencia en la misma anchura de banda de recepción), el nivel de interferencia no debe rebasar ciertos límites. Normalmente, una interferencia que no provoca una reducción de la relación  $C/N$  superior a 2 ó 3 dB se considera adecuada para su tratamiento como el ruido.

Conviene señalar que, dependiendo del esquema de modulación de la portadora afectada, la degradación producida por una interferencia determinada varía.

La relación entre  $C/N$  y  $C/I$  no es lineal: durante condiciones de propagación adversas, la relación  $C/N$  disminuye a causa de la atenuación de trayecto adicional mientras que la relación  $C/I$  permanece prácticamente constante (los trayectos útil e interferente resultan afectados por la misma atenuación, al menos para la separación angular que ofrece una discriminación por diagrama de antena limitada).

En el caso particular del proyecto HD-SAT, la red de satélites funciona en un entorno que resulta muy afectado por los fenómenos de propagación. Se prevé entonces la utilización de una «degradación progresiva» mediante la adopción de sistemas de transmisión que utilizan el concepto de «modulación por capas». Con este método, la transmisión de la señal de vídeo emplea un múltiplex de tiempo de varios esquemas de modulación que permitiría, de acuerdo con los estudios sobre el HD-SAT, una ganancia absoluta de unos 12 dB con respecto al valor de la relación  $C/N$  en condiciones de cielo despejado, al pasar de calidad TVAD a calidad de TVDR (similar a MPEG-1) a través de TVDM y TVDC.

Suponiendo que este margen adicional se utilice completamente para disminuir las condiciones de propagación adversas, la relación  $C/I$  que caracteriza al sistema debe corresponder al esquema de modulación más crítico del múltiplex; es decir el que curse el tren de información más valioso.

Adoptar la reducción de la relación  $C/N$  en las condiciones atmosféricas más desfavorables como una «decisión variable» (expresada en porcentaje), es decir un criterio de degradación  $C/(N + I)$  global, representa un objetivo de calidad razonable. Por ejemplo, una degradación de la relación  $C/N$  debida a la interferencia del 5% o del 10% sería un valor aceptable.

## 6 Conclusión

Para iniciar los trabajos sobre el establecimiento de procedimientos adecuados para la utilización de la banda 21,4-22,0 GHz del SRS, se realizó un estudio detallado a fin de determinar la posible capacidad de esta banda y sus posibles métodos de utilización. Se han estudiado dos métodos distintos para asegurar la máxima disponibilidad de los recursos (diámetro de la antena, anchura de banda, posiciones orbitales, polarización y límites de dfp). Se mantuvo al mínimo absoluto la determinación previa de parámetros técnicos generales y es necesario completar más estudios técnicos antes de empezar a discutir procedimientos para la gestión de esta banda.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Comisión Europea [marzo de 1995] HDTV-BSS frequency planning and planning strategies in the 21.4 GHz-22.0 GHz band. Deliverable No. 54, RACE 2075 (HD-SAT), Bruselas, Bélgica.

### ANEXO 5

#### **Ejemplo de misión hipotética para un SRS de TVAD digital en Europa en la banda de 20 GHz**

Se ha supuesto un ejemplo de misión que introduciría los servicios de radiodifusión de TVAD en Europa basándose en la utilización de tecnologías existentes o que existirán a corto plazo. El objetivo es permitir la recepción individual a través de los terminales de usuario con una antena de pequeñas dimensiones (de 0,6 m en la zona hidrometeorológica H a 0,9 m en la zona hidrometeorológica L) ofreciendo una disponibilidad de servicio del 99,6% del mes más desfavorable. Suponiendo la utilización del módem de degradación progresiva HD-SAT descrito en el Anexo 3 y en el § 2.1 del Anexo 1, en el cálculo del enlace se obtiene un requisito de p.i.r.e. mínima de 55 dBW. Se han hecho las siguientes hipótesis sobre las características de los equipos de satélite que pueden desarrollarse a corto plazo:

- potencia de radiofrecuencia de 75 W para un ATOP en la banda Ka; pueden utilizarse dos ATOP en una configuración en paralelo,
- una máxima potencia de radiofrecuencia de 3 000 W disponible en la plataforma del satélite.

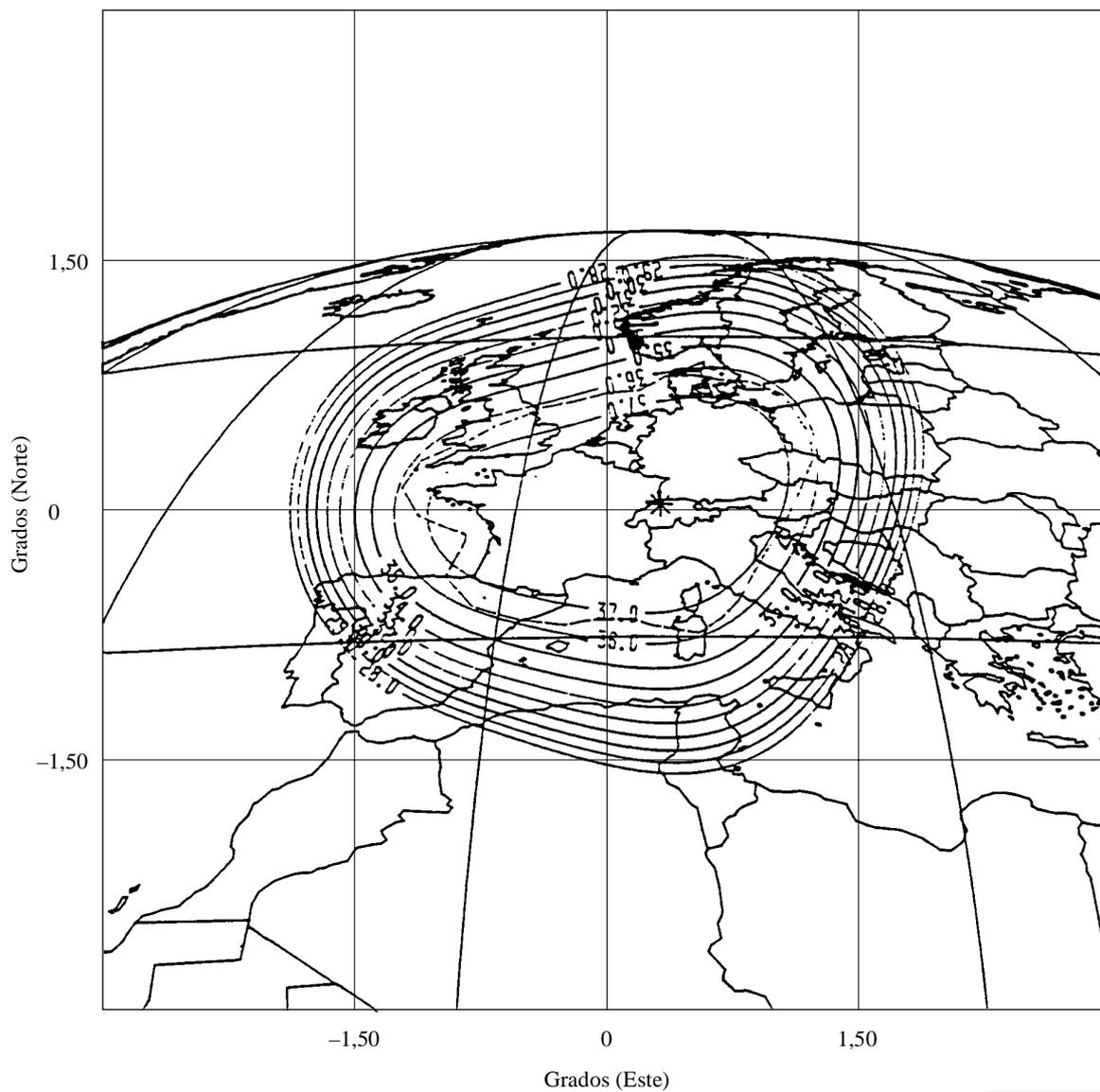
Se ha realizado un análisis sobre el compromiso entre la cobertura y el número de canales ofrecido a los usuarios finales en una zona específica. Considerando el requisito de p.i.r.e., una amplia cobertura a partir de una sola posición orbital únicamente es posible mediante una combinación de múltiples haces puntuales. Sin embargo, en este caso sólo puede utilizarse una subbanda de la anchura de banda total dentro de un haz determinado; como máximo están disponibles localmente un tercio del número total de programas (excepto para zonas con desbordamiento).

El límite superior del número total de canales viene fijado por la anchura de la banda de frecuencias total atribuida al SRS en la Región 1: 21,4-22 GHz. Considerando unos canales con anchura de 36 MHz y un factor de decrecimiento de 0,33 (es decir, una separación entre canales de 42 MHz), podría difundirse un máximo de 28 programas a partir de una sola posición orbital utilizando ambas polarizaciones. La separación de 42 MHz se ha elegido a fin de limitar las pérdidas en el multiplexor de salida de la sección de salida del satélite.

Con objeto de que este nuevo SRS de TVAD sea interesante para los posibles usuarios se ha estimado que se necesita un mínimo de 20 canales por haz. Por esta razón se ha considerado el concepto de un solo haz en vez de múltiples haces. En la Fig. 20 aparece la representación de un contorno típico basado en una cobertura supranacional (Europa Central en el ejemplo). (Evidentemente, para cualquier región determinada es posible lograr una cobertura adicional a fin de proporcionar canales adicionales desde distintas posiciones orbitales.)

FIGURA 20

**Ejemplo de cobertura supranacional por satélite en Europa Central**  
(Los parámetros se refieren a la ganancia de la antena de transmisión del satélite)



Suponiendo una arquitectura clásica para la carga útil del satélite, las características de diseño se resumen en el Cuadro 7:

CUADRO 7

Cobertura	Supranacional (por ejemplo, Francia y Alemania)	
Número de canales	20	
Potencia del ATOP (W)	Dos ATOP de 75 en paralelo	
p.i.r.e. por canal (dBW)	55	
Potencia de la plataforma (W)	3 000 (RF)	
Diámetro de la antena de recepción en tierra (m)	0,6, en la zona hidrometeorológica H	0,9, en la zona hidrometeorológica L
Anchura de banda de canal (y de programa) (MHz)	36	

Las unidades críticas que requieren desarrollos tecnológicos son las siguientes:

- multiplexor de salida que combina 10 canales de 150 W ( $2 \times 75$  W) cada uno
- antenas de recepción y transmisión del satélite.

---