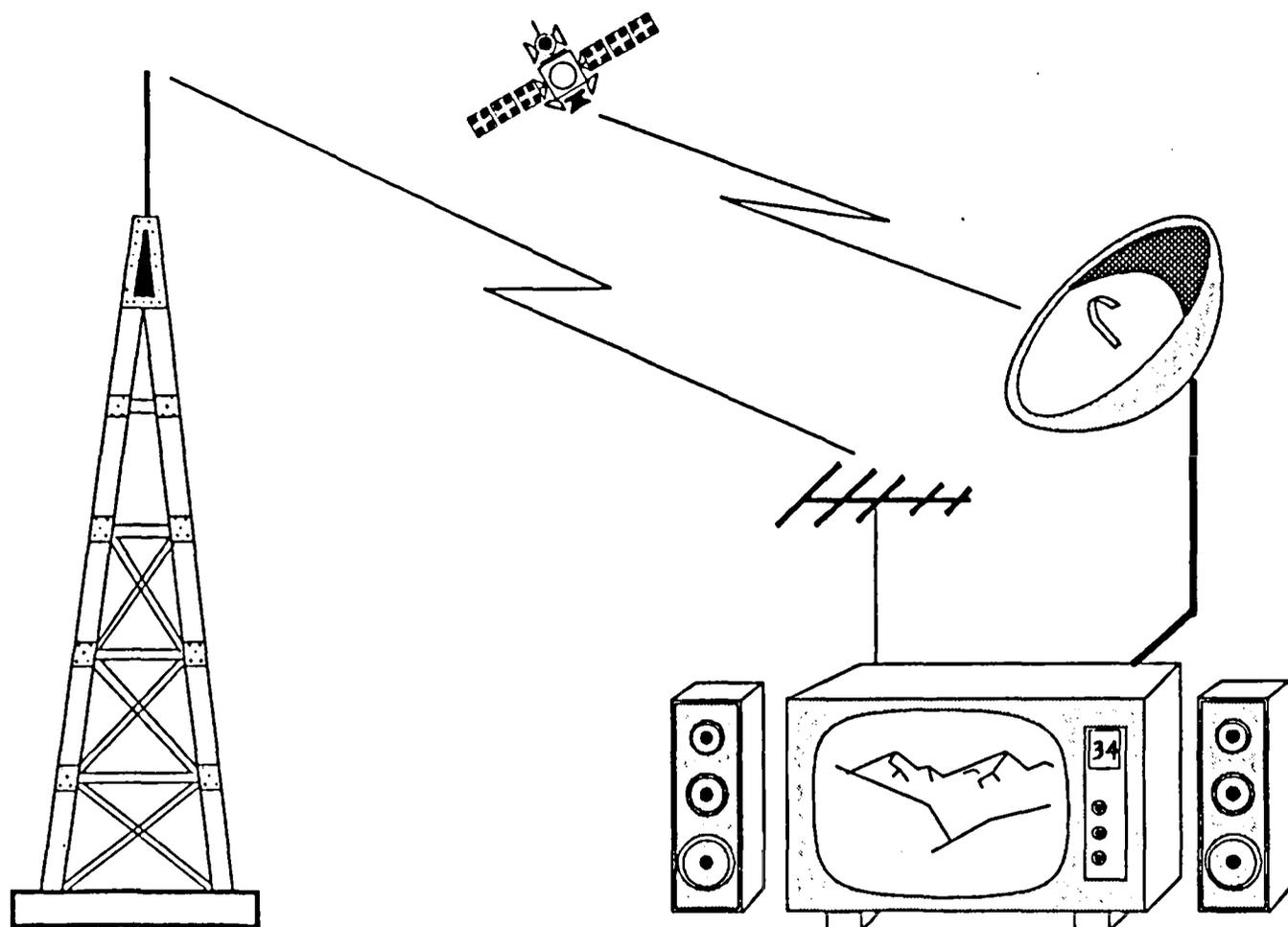




UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

# 1992 - RECOMENDACIONES DEL CCIR

(Nuevas y revisadas con fecha 15 de septiembre de 1992)



Serie RBT

## SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN (TELEVISIÓN)



COMITÉ CONSULTIVO INTERNACIONAL DE RADIOCOMUNICACIONES

ISBN 92-61-04593-6

Ginebra, 1992

© UIT 1992

Reservados todos los derechos de reproducción. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse o utilizarse, de ninguna forma o por ningún medio, sea éste electrónico o mecánico, de fotocopia o de microfilm, sin previa autorización escrita por parte de la UIT.



## Recomendacion 798 (1992)

### Radiodifusión Terrenal de TV Digital en las Bandas de Ondas Métricas y Decimétricas

Un extracto de la publicación:

*Recomendaciones CCIR: Serie RBT: Servicio de Radiodifusión (Televisión)*  
(Ginebra: UIT, 1992), pp. 11-34

This electronic version (PDF) was scanned by the International Telecommunication Union (ITU) Library & Archives Service from an original paper document in the ITU Library & Archives collections.

La présente version électronique (PDF) a été numérisée par le Service de la bibliothèque et des archives de l'Union internationale des télécommunications (UIT) à partir d'un document papier original des collections de ce service.

Esta versión electrónica (PDF) ha sido escaneada por el Servicio de Biblioteca y Archivos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a partir de un documento impreso original de las colecciones del Servicio de Biblioteca y Archivos de la UIT.

(ITU) للاتصالات الدولي الاتحاد في والمحفوظات المكتبة قسم أجراه الضوئي بالمسح تصوير نتاج (PDF) الإلكترونية النسخة هذه والمحفوظات المكتبة قسم في المتوفرة الوثائق ضمن أصلية ورقية وثيقة من نقلاً.

此电子版（PDF版本）由国际电信联盟（ITU）图书馆和档案室利用存于该处的纸质文件扫描提供。

Настоящий электронный вариант (PDF) был подготовлен в библиотечно-архивной службе Международного союза электросвязи путем сканирования исходного документа в бумажной форме из библиотечно-архивной службы МСЭ.

## RECOMENDACIÓN 798

RADIODIFUSIÓN TERRENAL DE TV DIGITAL EN LAS BANDAS  
DE ONDAS MÉTRICAS Y DECIMÉTRICAS\*

(Cuestión 121/11)

(1992)

El CCIR,

*considerando*

- a) que en la Cuestión 121/11 se trata de la radiodifusión terrenal de señales de TV[AD] digitales;
- b) que algunos países pueden introducir la radiodifusión terrenal de televisión digital (que comprende la TVAD) en las bandas de ondas métricas y decimétricas;
- c) que las bandas de ondas métricas y decimétricas se utilizan actualmente para radiodifusión de televisión analógica (Recomendación 470), y están muy congestionadas en algunos países;
- d) que, en consecuencia, las bandas terrenales de ondas métricas y decimétricas podrán compartirse probablemente entre la radiodifusión de televisión analógica y la radiodifusión de televisión digital,

*recomienda*

1. que la radiodifusión terrenal de televisión digital se acomode en los canales (6, 7 y 8 MHz) destinados a la emisión de televisión analógica en las bandas de ondas métricas y decimétricas;
2. que la radiodifusión terrenal de televisión digital, como objetivo, no cause interferencia subjetivamente mayor de la que se considere aceptable en los actuales servicios de radiodifusión en las bandas de ondas métricas y decimétricas;
3. que la radiodifusión terrenal de televisión digital tenga suficiente inmunidad contra la interferencia para poder coexistir con servicios de radiodifusión actuales en las bandas de ondas métricas y decimétricas.

*Nota 1* – En el anexo 1 figura información relativa a la evolución actual de la radiodifusión terrenal de TV digital.

## ANEXO 1

Radiodifusión terrenal de televisión digital en las bandas de ondas  
métricas y decimétricas

## 1. Introducción

La mayoría de los organismos de radiodifusión establecidos utilizan sistemas terrenales de emisión que operan en las bandas de frecuencias de ondas métricas y decimétricas. No obstante, deberían asimismo considerarse y tenerse en cuenta en el futuro los métodos que pueden utilizarse para la codificación digital de las señales de imagen de la televisión de alta definición y de las señales de sonido asociadas en la radiodifusión terrenal.

Las señales de entrada y de salida de sistemas de televisión, en la cámara y en el receptor, respectivamente, son inherentemente analógicas. Por tanto, es natural hacerse la pregunta «¿por qué digital?» para la radiodifusión de televisión. En tanto que las degradaciones de la señal analógica son acumulativas y es difícil distinguirlas de la señal de vídeo, la posibilidad de regenerar el tren de impulsos digitales exactamente hace a las señales digitales teóricamente inmunes a las degradaciones de fuentes externas. Es posible entrelazar varios trenes de bits digitales. Este proceso permite la emisión, la transmisión, el almacenamiento y el procesamiento de señales auxiliares junto a la señal de vídeo. Para la compresión de la imagen, el proceso de reducción de redundancia es muy eficaz en el dominio digital, por lo que se considera la elección adecuada para la radiodifusión terrenal de TVAD.

---

\* La radiodifusión de televisión en ondas métricas y decimétricas está contenida en las Bandas I-V.

Varias administraciones han comenzado a trabajar en el desarrollo de sistemas de radiodifusión de televisión digitales terrenales. Los objetivos de calidad de esas actividades de desarrollo van desde la televisión clásica hasta la TVAD. Según se utiliza en el presente anexo, el término «radiodifusión terrenal de televisión digital» comprende toda esa gama de servicios.

Para diseñar un sistema de radiodifusión terrenal de televisión digital hay que utilizar métodos avanzados con respecto a la codificación en la fuente, la codificación en el canal y la modulación, junto a amplios análisis de planificación de frecuencias. Además, es importante considerar la armonización con otros medios.

Procede señalar que muchos de los conceptos, técnicas y aspectos del sistema descritos a continuación bajo títulos geográficos tienen importancia mundial y se están estudiando en todas las actividades de desarrollo.

## **2. Evolución en Europa**

### **2.1 Introducción**

En Europa, se ha conseguido mucha experiencia con técnicas de reducción de la velocidad binaria digital y técnicas de modulación, tanto para aplicaciones de vídeo como de audio. Se han desarrollado normas europeas para el intercambio digital de programas de televisión de componentes a 34-45 Mbit/s y 140 Mbit/s, como resultado de los trabajos realizados en varios proyectos de colaboración europeos, como EUREKA 256, RACE HIVITS y la CMTT. Otro proyecto, EUREKA VADIS, persigue desarrollar la tecnología para la distribución de sistemas vídeo digitales hasta 10 Mbit/s, con miras a la normalización en la ISO. Además, ya se ha trabajado mucho en sistemas para radiodifusión audio digital (DAB - «Digital Audio Broadcasting»), incluidas algunas demostraciones muy satisfactorias.

Numerosos laboratorios europeos siguen trabajando en el campo de la reducción de la velocidad binaria, y cada vez hay más interés en las aplicaciones para la radiodifusión de televisión. Existen propuestas para un nuevo proyecto de colaboración importante (Tarea 813 del proyecto RACE) para coordinar esta labor y elaborar técnicas apropiadas para la radiodifusión de televisión terrenal digital. Se persigue la finalidad de combinar métodos de codificación en la fuente con la codificación en el canal utilizando técnicas de modulación avanzadas y de considerar aspectos de planificación de frecuencias teniendo en cuenta la congestión particular de las bandas de radiodifusión en ondas métricas y decimétricas en Europa. También se están desarrollando en Suecia y Noruega actividades en el campo de la radiodifusión terrenal de TVAD digital.

### **2.2 Actividades actuales**

#### **2.2.1 Actividades en Suecia y Noruega**

Swedish Telecom, en cooperación con Norwegian Telecom y la Empresa de radiodifusión sueca, han iniciado el desarrollo de un sistema prototipo para TVAD terrenal digital. Se utilizará en experimentos y demostraciones con transmisores de TV y la primera fase del proyecto deberá realizarse a mediados de 1992.

Es importante desarrollar un sistema de TVAD apropiado también para redes terrenales, puesto que éstas se utilizarán durante mucho tiempo para dar servicio a una gran parte de la población, y ofrecen además la posibilidad de emisiones regionales. Tal sistema puede adaptarse asimismo a otros medios de transmisión, como las redes de TV por cable, satélites de TV y futuras redes de banda ancha. Desde el punto de vista del consumidor, es importante establecer una solución para mucho tiempo con un receptor común a todos los medios de transmisión.

El proyecto sueco-noruego debe verse en esta perspectiva. Con él se persigue sobre todo conocer mejor las técnicas de emisión digitales para TVAD y demostrar sus posibilidades. En una segunda fase los esfuerzos se centrarán en aspectos del sistema y mejoras de los diversos subsistemas.

#### **2.2.2 Evolución en el Reino Unido**

En el Reino Unido, la National Transcommunications Ltd. (NTL) está realizando un importante programa de investigación conocido como SPECTRE (Special Purpose Extra Channels for Terrestrial Resolution Enhancements).

Se trata de determinar la utilización más eficaz de todo el trayecto de radiodifusión terrenal utilizando técnicas digitales para explotar en la mayor medida posible la redundancia propia de la actual red de ondas decimétricas PAL, proyectada para la transmisión analógica ya en 1961. La investigación se orienta hacia métodos de transmisión digital que puedan contenerse en los canales de televisión en ondas decimétricas de 8 MHz normales, y que puedan coexistir con los actuales sistemas PAL. Entre los temas estudiados figuran la codificación de vídeo a baja

velocidad binaria con respecto a la calidad de servicio, así como métodos de modulación digital y la transmisión de canales adicionales por las bandas de radiodifusiones existentes.

### **2.2.2.1 Codificación de vídeo a baja velocidad binaria y calidad de servicio**

Se está desarrollando una técnica de codificación de transformación discreta de coseno (TDC) híbrida con compensación del movimiento. Para competir con la distribución por satélite de gran calidad, un servicio terrenal digital también de gran calidad ha de poder ofrecer imágenes componentes con un formato de 16:9 y una resolución en la fuente mínima de 720 × 576 muestras por cuadro (luminancia).

Experiencias recientes en la reducción de la velocidad binaria de esas imágenes utilizando TDC híbrida con predicción compensada del movimiento y codificación interpolar han revelado que puede mantenerse una elevada calidad de la imagen para la inmensa mayoría del contenido de la imagen de televisión en unos 12 Mbit/s.

Sin errores de transmisión, la calidad de imagen sería la ofrecida por la codificación con reducción de redundancia a baja velocidad binaria. Esa calidad no es constante, pero depende en gran medida del contenido estadístico del material de la imagen codificado. Por tanto, prosiguen los trabajos sobre métodos para evaluar críticamente la secuencia de la imagen con el fin de desarrollar técnicas destinadas a determinar la calidad de servicio de las imágenes codificadas a baja velocidad binaria.

### **2.2.2.2 Métodos de modulación digital**

Los estudios han mostrado que la única manera de lograr la compartición de la banda en la transmisión digital con servicios analógicos existentes es radiar la señal digital a un nivel muy bajo con el fin de no causar interferencia. La señal digital ha de ser de baja potencia porque, a falta de consideraciones de interferencia, las relaciones portadora/ruido típicas requeridas para la recepción son de unos 15 dB, en tanto que para el servicio de televisión analógica se necesita una relación portadora/ruido de más de 40 dB, para proporcionar una imagen de grado 4. Con los bajos factores de ruido que pueden obtenerse ahora en los receptores, tal vez se pueda transmitir una señal digital a una potencia inferior en 30 dB a la señal de televisión analógica convencional para proporcionar la misma cobertura. Sin embargo, para una señal digital a tan baja potencia el entorno de la interferencia habría de ser muy hostil, por lo que es esencial elegir un sistema de modulación apropiado.

El método particular que se está investigando consiste en utilizar la multiplexión por división de frecuencia ortogonal (MDFO). Se trata de un gran número de portadoras espaciadas por igual en cuanto a frecuencia, moduladas cada una de ellas por un método de modulación digital, tal como MDP-4. El espectro global de una señal MDFO es una buena aproximación a un espectro rectangular que se acomoda perfectamente a la propagación por trayectos múltiples. Esta configuración del espectro proporciona resultados excelentes porque el periodo de bits de cada portadora es mucho más largo que el retardo de las reflexiones típicas. Además, pueden cortarse esencialmente pequeñas porciones del espectro transmitido; por ejemplo, en las frecuencias portadoras de imagen y sonido de transmisiones analógicas co-canal para proporcionar protección entre servicios analógicos y digitales.

### **2.2.2.3 Transmisión de canales adicionales dentro de las bandas de radiodifusión existentes**

Un servicio digital podría aceptar niveles muy altos de interferencia del servicio analógico, por lo que la distancia de reutilización de la frecuencia puede reducirse drásticamente entre los servicios analógicos y digitales. Los estudios realizados hasta ahora muestran que tal vez puedan proporcionarse cuatro canales digitales en la mayoría de los emplazamientos de transmisores importantes. Prosiguen los estudios.

La situación en las estaciones repetidoras es más compleja, puesto que éstas ocuparían frecuencias de las que de otro modo podría disponerse para transmisiones digitales. Sin embargo, según las indicaciones es probable que puedan hallarse canales para radiodifundir un nuevo servicio digital desde muchas de las estaciones existentes en el Reino Unido. Probablemente sea más difícil acomodar transmisores en zonas costeras de corto trayecto marítimo con un país adyacente.

### **2.2.2.4 Resultados**

Los estudios en curso en el Reino Unido muestran que la tecnología de televisión digital probablemente pueda hacer una utilización más eficaz del espectro de radiodifusión en ondas decimétricas, y posiblemente ofrezcan un considerable número de canales adicionales que puedan compartir la banda de radiodifusión con los servicios de televisión existentes.

Hasta ahora, sólo se ha examinado la modulación MDP-4 de las portadoras MDFO. Hay interés en esquemas de modulación de orden superior, particularmente los de 16 niveles, debido a la posibilidad de transmitir a una velocidad de datos de 24 Mbit/s (después de la corrección de errores) en un canal terrenal de ondas decimétricas de 8 MHz.

La experiencia obtenida hasta ahora muestra que 12 Mbit/s proporcionan un nivel de calidad que se aproxima a la ofrecida por MAC, y que probablemente se necesiten unos 24 Mbit/s para imágenes de más alta definición apropiadas para pantallas grandes. Evidentemente, puede existir una diversidad de posibles opciones intermedias que compense la característica de error y la calidad de la imagen; continúan los estudios.

### **2.2.3 Proyecto EUREKA VADIS (codificación en la fuente)**

Se ha lanzado una nueva e importante iniciativa sobre TV digital dentro del programa europeo «EUREKA» para la investigación en colaboración: EUREKA 625. Más de 30 organizaciones de 12 países europeos ha acordado cooperar para desarrollar la tecnología de codificación de la fuente necesaria para llevar al hogar y a la oficina la televisión totalmente digital.

El proyecto se conoce con el acrónimo VADIS (Video-Audio Digital Interactive System – Sistema Interactivo Digital Audiovisual). La palabra «interactivo» refleja el interés del proyecto en hacer posible nuevos tipos de servicios audiovisuales, así como en ofrecer una mejor calidad de la imagen y más canales de programas de televisión.

VADIS aportará una importante contribución a las actividades internacionales de normalización como el actual MPEG de la ISO.

La TV digital ofrece muchos beneficios en cuanto a calidad y flexibilidad, pero en su forma bruta ocupa una anchura de banda mucho mayor que las señales analógicas actuales. El proyecto desarrollará técnicas de codificación sofisticadas para comprimir las señales de televisión digital por un factor de entre unos 20 y 40, conservando prácticamente toda la calidad original. La compresión permitirá proporcionar servicios audiovisuales digitales mediante dispositivos de almacenamiento digital, redes de telecomunicaciones, canales terrenales por ondas métricas y decimétricas o canales de satélites.

El proyecto ha adoptado un método de trabajo «genérico», es decir, que persigue elaborar una solución que pueda utilizarse para una amplia gama de aplicaciones. Las primeras investigaciones se realizarán mediante simulación por computador; las pruebas prácticas utilizando equipo experimental están previstas para 1993.

El trabajo del proyecto se ha dividido en cinco partes:

- necesidades; la función de este Grupo de Trabajo es definir las necesidades de la gama de aplicaciones que han de considerarse en el proyecto VADIS;
- algoritmos;
- aspectos del sistema; el principal objetivo de este Grupo de Trabajo es definir un método para multiplexar las señales de imagen, varias señales de sonido y otros trenes de datos en un solo tren de bits, manteniendo en sincronismo la información audio y vídeo;
- demostradores/VLSI; y
- pruebas prácticas utilizando equipo prototipo de laboratorio que se piensa realizar en 1993.

### **2.2.4 Proyecto europeo RACE 813 (codificación y modulación del canal)**

Para la radiodifusión de televisión digital, teniendo en cuenta la situación específica europea que comprende un elevado grado de atención a la planificación de frecuencias coordinadas estrechamente, hay que realizar estudios concretos sobre la viabilidad de la radiodifusión terrenal digital, e importantes organismos de radiodifusión y fabricantes de artículos de consumo europeos están preparando un proyecto con tal fin; algunos de los participantes en ese proyecto han iniciado ya ciertas realizaciones e inversiones en este campo, por lo que se requiere una coordinación estructurada.

El principal objetivo del proyecto es contribuir al establecimiento de una norma europea y a las correspondientes tecnologías para un servicio de radiodifusión terrenal de televisión digital. La estrategia general del establecimiento del servicio debe correr a cargo de un Grupo de Estrategia europeo, que también se está preparando, compuesto de fabricantes, organismos de radiodifusión y la UER.

El propio proyecto concentrará sus actividades en modulación/codificación del canal y aspectos de sistemas de radiodifusión, y abarca los siguientes temas:

En primer lugar, un amplio estudio en el que se investigarán todas las velocidades de datos posibles en los canales terrenales existentes en ondas métricas y decimétricas, con el fin de determinar que servicios y productos de radiodifusión vídeo digital son factibles. La finalidad del estudio es asegurarse de que se tienen en cuenta todas las futuras opciones posibles, como más canales de TV y una mejor calidad de la imagen.

En segundo término, como primer paso para definir un servicio/producto, se construirá equipo de experimentación para la radiodifusión de programas de TV destinados a receptores portátiles o móviles, es decir, sin enchufe de corriente eléctrica. Ese equipo de experimentación permitirá investigar los aspectos de configuración de las redes, las posibilidades de ampliación para nuevos servicios, los aspectos relacionados con las atribuciones de frecuencias y análisis de circuitos integrados, para un servicio de mayor calidad que la de los actuales sistemas PAL y SECAM y que comprenderá una capacidad de 16:9.

El proyecto trata principalmente de la radiodifusión de TV por canales de ondas métricas y decimétricas, teniendo en cuenta que se estudiarán nuevas adaptaciones para otros medios limitados de anchura de banda. El proyecto se ha dividido en siete partes: gestión y coordinación, aspectos y requisitos del sistema, codificación y modulación en el canal, arquitectura múltiple y aspectos de la red, pruebas y mediciones, desarrollo de equipo de experimentación, y desarrollo de circuitos integrados.

Se supone que el formato de la señales de imagen y sonido codificadas digitalmente se desarrolla y define en el ámbito de otro proyecto o por otros grupos. Por tanto, en este proyecto los resultados se evalúan principalmente en términos de velocidades de datos disponibles y proporciones de errores de transmisión.

Entre las condiciones que han de cumplirse, el múltiplex digital ha de ser suficientemente flexible para adaptarse a distintas aplicaciones o configuraciones de servicio, y para permitir futuras modificaciones. El sistema ha de concebirse de tal manera que se pueda ampliar posteriormente a la televisión de alta definición en forma compatible. En esta actividad intervienen 22 participantes de 7 países.

### **3. Evolución en América del Norte**

#### **3.1 Introducción**

Estados Unidos de América y Canadá están eligiendo una norma que habrán de utilizar los organismos de radiodifusión terrenales para prestar un servicio de televisión avanzado. En los dos países está en marcha un importante y amplio programa experimental conjunto, que durará hasta el verano de 1992.

En Estados Unidos de América, la Federal Communications Commission (FCC) creó un Advisory Committee on Advanced Television Service (ACATS) para preparar un expediente técnico sobre los sistemas propuestos y formular Recomendaciones a la FCC. Está previsto que la FCC haga la elección definitiva en el primer semestre de 1993.

La FCC ha determinado que la TVAD habrá de acomodarse en los canales de 6 MHz en las bandas de ondas métricas y decimétricas utilizadas actualmente para la TV convencional. Por tanto, existirán canales de la TV convencional y canales de la TVAD adicionales que se interferirán mutuamente en las bandas de televisión.

En junio de 1990 se propuso y sometió a la consideración de la FCC, como posible norma de Estados Unidos de América, el primer sistema TVAD de radiodifusión terrenal totalmente digital. Desde entonces se han desarrollado y propuesto para la evaluación tres sistemas totalmente digitales más. Los parámetros de los cuatro sistemas actualmente propuestos figuran en el § 3.6.2.

Se sostiene que los sistemas totalmente digitales proporcionarán una verdadera calidad de alta definición, sin degradación perceptible causada por el ruido ni la interferencia, hasta en el borde de la zona de cobertura correspondiente que será equivalente a la cobertura del NTSC. Puede necesitarse menos potencia de transmisión, y realizarse fácilmente el encriptado de la señal.

#### **3.2 Codificación de la fuente**

##### **3.2.1 Introducción**

La evolución más reciente de la VLSI ha contribuido considerablemente a la rápida aparición de técnicas digitales de compresión de la imagen en aplicaciones TVAD. Se ha progresado mucho en el desarrollo de técnicas de televisión avanzadas para la radiodifusión. El objetivo fundamental de la compresión de TVAD digital es reducir la velocidad binaria, manteniendo al mismo tiempo una calidad aceptable de la imagen. Se han elaborado numerosas técnicas de compresión de anchura de banda, como modulación por impulsos codificados diferencial (MICD), codificación en sub-banda incluida la codificación con transformadas, la cuantificación vectorial, la codificación híbrida, y versiones adaptables de esas técnicas en respuesta al mayor número de métodos de procesamiento de la imagen. Mediante estas técnicas se exploran normalmente las redundancias psicofísicas y estadísticas en los datos de la imagen para reducir la velocidad binaria. En este punto se exponen algunas técnicas de compresión TVAD digital que se utilizan en los sistemas propuestos en Estados Unidos de América.

Un importante objetivo de la codificación de la fuente es representar una imagen con el menor número de bits posible, preservando al mismo tiempo el nivel de calidad y la inteligibilidad requerida para la aplicación de que se trate. La codificación en la fuente consiste en predicción/compensación del movimiento, transformación, cuantificación y codificación de entropía. El proceso se aplica al material de la fuente de la imagen y produce resultados con pérdidas, es decir, que se pierde alguna información de imagen. Cada uno de estos elementos trata de explotar la redundancia presente en la imagen de la fuente y las limitaciones del dispositivo de presentación y el sistema visual humano. La codificación de la fuente de imágenes en movimiento puede dividirse además en codificación intratrama/cuadro y entre tramas/cuadros\*.

### 3.2.2 Codificación intracuadro

El vídeo puede considerarse como una secuencia de cuadros en la que cada uno de ellos es un rectángulo de píxels. En la codificación intracuadro se codifica cada cuadro de televisión sobre la base de la información procedente de ese cuadro únicamente. Se suprime tan sólo la redundancia espacial dentro de un cuadro. Tres métodos de codificación muy utilizados corresponden al tipo de codificación intracuadro: la codificación predictiva, la codificación con transformadas y la cuantificación vectorial.

Un tipo de codificación predictiva muy generalizado es la MICD. En la MICD, la predicción de la intensidad de píxel corriente se obtiene de una o más intensidades de píxel codificadas previamente. Los esquemas MICD pueden hacerse adaptables en función del predictor o del cuantificador. Una importante ventaja de la MICD con respecto a la codificación con transformadas es su sencillez. Además, a bajas tasas de compresión, la reducción de la velocidad binaria que puede lograrse mediante la codificación de la señal es comparable a la de la codificación con transformadas. Un ejemplo son las aplicaciones en estudio de TVAD, en que se requieren imágenes de gran calidad.

En la codificación con transformadas, una imagen se transforma a un dominio considerablemente distinto del dominio de intensidad de la imagen, después de lo cual se codifican los coeficientes de la transformada. Con las técnicas de codificación con transformadas se trata de reducir la correlación existente entre las intensidades de píxel de la imagen más de lo que se logra con las técnicas de codificación de la señal. Cuando la correlación es reducida, la información redundante no debe codificarse repetidamente. En la codificación con transformadas se explota asimismo la observación de que, para imágenes típicas, se concentra una gran cantidad de energía en una pequeña fracción de los coeficientes de la transformada. Esto se denomina propiedad de compactación de la energía. Debido a esta propiedad, es posible codificar solamente una fracción de los coeficientes de la transformada sin afectar seriamente a la imagen. Otra propiedad deseable de una transformada es la reducción de la correlación entre coeficientes de la transformada, denominada propiedad de reducción de correlación. Mediante una elección adecuada de la función básica, puede reducirse la correlación entre los coeficientes. Un ejemplo de transformada es la transformada discreta de coseno (TDC), que es la transformada más utilizada en la codificación de la imagen. En la codificación TDC, una imagen se divide en numerosas imágenes o bloques (normalmente 8 píxels por 8 píxels), y cada bloque se codifica por separado. Codificando cada vez una subimagen, el codificador puede adaptarse a las características de la imagen local. Por ejemplo, el método de elegir la cuantificación y los métodos de atribución de bits pueden diferir entre regiones centrales uniformes y regiones extremas. Para sacar provecho de la propiedad de compactación de la energía se utilizan muchos procedimientos con el fin de determinar qué coeficientes de la transformada han de codificarse; se trata de la codificación zonal y de la codificación de umbral. En la codificación zonal sólo se codifican los coeficientes dentro de una región dada. En la codificación de umbral, los coeficientes de la transformada se comparan con un umbral y se codifican los superiores al mismo. La elección de qué coeficientes de la transformada han de codificarse depende de las características de la imagen local, y pueden controlarse sobre la base de una memoria intermedia.

Las transformadas de sub-banda se calculan generalmente mediante convolución de la señal de entrada con un conjunto de filtros pasabanda y diezmado (submuestreo) de los resultados. Cada señal de sub-banda diezmada codifica una porción particular del espectro de frecuencias, correspondiente a la información que se produce a determinada escala espacial. Merced a un algoritmo de atribución de bits adaptable que distribuye los bits entre las bandas, el esquema de codificación de sub-banda resulta apropiado para una amplia variedad de imágenes.

En la cuantificación vectorial, se procesa una amplia gama de material de imagen para producir un número finito de vectores de imagen (bloques de imágenes como los utilizados en la codificación con transformadas). Debidamente elegido, este conjunto finito puede utilizarse para reconstruir las imágenes originales con poca degradación. Por ejemplo, la codificación con transformadas puede considerarse para producir aquellos vectores representables por cosenos de orden bajo. En la cuantificación vectorial, las imágenes que han de transmitirse se expresan mediante vectores, y se busca el conjunto de vectores almacenados, o código de cifrado y descifrado, para la

---

\* Surgen diferencias de terminología según el uso de la exploración con entrelazado o progresiva. En este anexo no se harán tales distinciones y se utilizarán únicamente los términos intracuadro y entrecuadros.

adaptación adecuada a cada vector de la fuente. La compresión se logra transmitiendo la dirección del vector en lugar de los datos de la imagen. Sólo en las últimas investigaciones de grandes códigos de cifrado y descifrado se ha reconocido que la cuantificación vectorial es una poderosa técnica de codificación de la imagen.

Para aumentar más la eficiencia de la codificación, se utiliza la codificación de entropía con longitud variable en el codificador múltiplex de vídeo que sigue inmediatamente al codificador de la fuente. El tren de datos resultante del esquema de codificación anterior no tiene una velocidad binaria fija; la cantidad de la reducción de datos depende de la eficacia de la codificación. Sin embargo, se requiere una velocidad binaria fija para la transmisión. Por tanto, la salida del codificador múltiplex de vídeo se envía a una memoria intermedia, que regula el flujo de información vídeo a una velocidad binaria fija controlando la cuantificación, entre otros parámetros.

En los sistemas DigiCipher, DSC-ADTV y ADTV se utiliza la codificación TDC. En el sistema ATVA-P se utiliza la codificación de sub-banda.

### 3.2.3 *Codificación entre cuadros*

La codificación entre cuadros se utiliza en todos los sistemas de radiodifusión terrenal TVAD digital propuestos para obtener una tasa de compresión más alta de la que puede lograrse con la codificación intracuadro solamente reduciendo la redundancia temporal entre imágenes. Para reducir la redundancia temporal de imágenes se codifican la imagen residual del cuadro corriente y el cuadro corriente previsto. El cuadro previsto se genera sobre la base de la información procedente de un cuadro previo y/o futuro. La predicción/compensación del movimiento se utiliza para estimar el cuadro corriente, con el fin de reducir lo más posible la imagen residual. La información del movimiento forma parte de la información necesaria para recuperar la imagen, y ha de codificarse y transmitirse debidamente.

Todos los métodos de codificación mencionados en la sección anterior pueden utilizarse para codificar las imágenes residuales. La información de la imagen codificada junto con la información del movimiento se comprime de nuevo utilizando una codificación de longitud variable para lograr la máxima eficiencia. Lo mismo que con la codificación intracuadro, puede obtenerse una velocidad binaria fija utilizando una memoria intermedia.

Los métodos de predicción del movimiento pueden clasificarse en dos grandes grupos, a saber: métodos de adaptación de bloques y métodos condicionantes espacio-tiempo. En los métodos de adaptación de bloques hay que considerar una pequeña región en un cuadro de imagen y tratar de hallar el desplazamiento que produce la «mejor adaptación» entre regiones posibles en un cuadro adyacente. Los algoritmos de los métodos condicionantes espacio-tiempo se basan en la ecuación condicionante espacio-tiempo.

Los métodos de adaptación de bloques se utilizan en los sistemas DigiCipher, DSC-TVAD y ADTV. El sistema ADTV-P emplea el método condicionante espacio-tiempo.

### 3.2.4 *Cuantificación*

El proceso de asignar una magnitud escalar continua a uno de varios niveles discretos se denomina cuantificación. Si cada escalar se cuantifica independientemente, el procedimiento se denomina cuantificación escalar. Si dos o más escalares se cuantifican conjuntamente, el procedimiento se denomina cuantificación vectorial. Una importante ventaja de la cuantificación vectorial es que puede explotar la dependencia estadística entre los escalares del bloque. La cuantificación vectorial se utiliza en el sistema DSC-TVAD para representar las posibles combinaciones o esquemas de cuantificadores que pueden aplicarse a determinado bloque de coeficientes.

La cuantificación adaptable se utiliza en todos los sistemas propuestos para optimar la codificación de la fuente.

### 3.2.5 *Codificación de entropía*

Estadísticamente, ciertos valores aparecen más frecuentemente que otros. Es posible asignar una palabra de código más breve a los valores que se dan frecuentemente, y otra más larga a los que se dan menos frecuentemente. Según la teoría de la información, la entropía es la mínima velocidad binaria media teóricamente posible requerida en la codificación de un mensaje. Un método óptimo para concebir una palabra de código de fácil utilización, descodificable de forma unívoca, y que da como resultado la más baja velocidad binaria media, es la codificación de Huffman (codificación de longitud variable). Asimismo, cuando se exploran debidamente los coeficientes de la transformada/sub-banda, los coeficientes suelen ordenarse de alta amplitud a baja amplitud, como resultado de lo cual los coeficientes cero aparecen normalmente como una sola serie larga que puede codificarse con una breve palabra de código.

La codificación de entropía se utiliza en todos los sistemas digitales de TVAD propuestos para codificar coeficientes de la propia imagen y de la información auxiliar relativa a la imagen.

### 3.2.6 *Memoria intermedia*

Debido a la codificación de entropía (codificación de longitud variable) y a la cuantificación adaptable, la velocidad de datos de la codificación de la fuente varía localmente. Se utiliza una memoria intermedia para convertir la velocidad binaria variable a la entrada en una velocidad binaria fija a la salida para la transmisión. El estado de la memoria intermedia se calcula periódicamente, y se toma ese dato para ajustar el nivel de cuantificación.

En todos los sistemas de TVAD digital propuestos se utilizan memorias intermedias.

## 3.3 *Codificación en el canal*

### 3.3.1 *Introducción*

Con el fin de transmitir la señal de TVAD en 6 MHz, los cuatro proponentes de TVAD digitales de Estados Unidos de América reducen la velocidad de datos vídeo de TVAD a 15-17 Mbit/s, una relación de compresión del orden de 60-70 veces. Debido a la elevada compresión hay que emplear la codificación en el canal para evitar errores de bloqueo y la propagación de errores de multicuadro. En razón de la elevada eficiencia requerida para la utilización del canal por la limitación de 6 MHz, hay que igualar debidamente el canal y que limitar en forma estricta las señales de trayectos múltiplex e interferentes. El canal de radiodifusión terrenal es un medio muy difícil, como lo prueban las degradaciones de transmisión de la televisión clásica, como ruido, imágenes fantasmas, interferencia y distorsión de frecuencias. Los sistemas de TVAD digital propuestos actualmente utilizan la codificación en el canal para proteger los datos que han de recibirse correctamente. Entre las técnicas de codificación en el canal utilizadas para la reducción de errores figuran el entrelazado de datos, la detección y la sustitución de errores y la corrección de errores a distintos niveles de protección para bits y bloques de diversa importancia.

### 3.3.2 *Multiplexión de imagen, sonido y datos*

La velocidad de datos de información efectiva para los diferentes sistemas propuestos varía de 15-17 Mbit/s en el caso del vídeo (según el modo de transmisión), 0,5 Mbit/s en el del audio y 250-550 kbit/s en el de los datos. La aleatorización se realiza sobre los datos digitales, por lo que el igualador en el receptor funciona debidamente, y se genera una señal interferente similar al ruido. Algunos sistemas propuestos realizan el entrelazado de datos con lo que las ráfagas de bits erróneos en el canal pueden tratarse como bits erróneos no correlacionados por los códigos de corrección de errores en recepción. Los sistemas propuestos de TVAD digital tienen diferentes bits de imagen, sonido y datos por cuadro de datos, supercuadro y niveles de subcuadro. Se insertan secuencias de bits de sincronización a intervalos para marcar esas fronteras y proporcionar al procesador trenes apropiados de imagen, sonido, datos/texto y datos de control.

#### 3.3.2.1 *Sistema DigiCipher*

Antes de la corrección de errores sin canal de retorno en el codificador, el tiempo de línea para cada par de líneas de vídeo comprende 848 bits de información para el modo 16-MAQ y 1 160 bits de información para el modo 32-MAQ. El par de líneas 1-2 consta de 8 bits para control de acceso, 8 bits para datos auxiliares, 32 bits para audio, 24 bits para sincronización, 40 bits para control del sistema, y el resto para vídeo. Los pares de líneas 3-4 a 1 049-1 050 constan de 8 bits para control de acceso, 8 bits para datos auxiliares, 32 bits para audio, y el resto para vídeo. La velocidad de datos total, antes de la corrección de errores, es 13,34 Mbit/s para el modo 16-MAQ, y 18,22 Mbit/s para el modo 32-MAQ.

#### 3.3.2.2 *Sistema DSC-TVAD*

La señal de DSC-TVAD se codifica en una señal digital a la velocidad de hasta 21,0 Mbit/s o 2,69 Mbytes/s.

Los bytes de transmisión se disponen en un «cuadro de datos» temporizado igual que un cuadro NTSC. Un cuadro de datos contiene dos «tramas de datos», y un cuadro de datos se divide en 525 «segmentos de datos» todos en correspondencia con el «cuadro» con la «trama» y con la línea horizontal NTSC respectivamente. (Con estos nuevos términos de la señal de transmisión se evita la confusión con «cuadro», «trama» y «línea» pertenecientes a la señal de la fuente y de visualización.)

Un segmento de datos contiene 171 bytes, cuatro de ellos son bytes de sincronización. El primer byte de esos cuatro está destinado a sincronizar el reloj de datos vídeo del receptor. Cada trama de datos va precedida de una señal de sincronización de trama de datos de una duración del segmento de datos consistente en secuencias de datos pseudoaleatorias. Esa señal se utiliza para la sincronización de trama, pero también como señal de aprendizaje para un cancelador de imágenes fantasma/igualador de canal en el receptor. El resto de la trama de datos está ocupada por datos de programa y de servicio a los que se agregan bytes Reed-Solomon para la corrección de errores en recepción.

Los bits de sincronización no están protegidos por el código R-S pero tienen su propia redundancia protectora. La atribución de bits es: vídeo en 8,6 a 17,1 Mbit/s, audio en 0,5, datos auxiliares en 0,413, protección Reed-Solomon en 1,3 a 2,4, sincronización en 0,292 a 0,544, y no asignados en 0,04 para un total de 11,1 a 21,0 Mbit/s.

### 3.3.2.3 Sistema ADTV

La capa de transporte de datos basada en el reenvío de células de ADTV soporta la distribución prioritaria de datos vídeo, lo que permite una degradación natural del servicio en peores condiciones de los canales. El reenvío de células proporciona la sincronización lógica esencial para la distribución segura de vídeo comprimida con codificación de longitud variable en presencia de errores de transmisión. El protocolo de transporte de datos de ADTV ofrece también flexibilidad del servicio para una amplia combinación de servicios de vídeo, de audio y de datos auxiliares. El sistema atribuye 14,98 Mbit/s para vídeo, 512 kbit/s para audio, 40 kbit/s para datos, y hasta 512 kbit/s para datos auxiliares. Sin embargo, la multiplexión de ADTV de vídeo, de audio y de datos es flexible, y toda la capacidad puede atribuirse entre ellos, según se desee.

En el proceso de asignación de prioridades se identifican piezas de información más críticas en términos del «tipo» de elemento de datos (los elementos de datos de vídeo comprenden información de movimiento, tipo de bloque, coeficientes TDC, parámetros de cuantificación, etc.). El procesador de prioridad asigna distintas prioridades a cada elemento de datos según una regla de asignación. La asignación se hace dinámicamente, reflejando cualquier fluctuación en la carga del canal. En general, la carga del canal variará con el tiempo, en razón de la velocidad de salida variable de los datos de vídeo comprimidos.

Se ha desarrollado un formato de transporte concretamente para tratar información con diferentes requisitos de protección de errores por el canal de difusión simultánea. La encapsulación de datos para soportar un transporte con prioridad se realiza a fin de proporcionar capacidad de concatenación y segmentación de la carga útil con objeto de maximizar la utilidad del canal y minimizar el impacto de las pérdidas de la carga útil en el sistema. El procesador de transporte multiplexa asincrónicamente los datos de carga útil con diferentes prioridades en unidades básicas de transporte denominadas células. Una célula se asemeja a un paquete de datos en las redes de paquetes convencionales, en las comunicaciones de datos modernas. Abarca una zona de carga útil con un encabezamiento y un indicador de fin. Cada célula tiene un tamaño fijo y sus propios bits de control de errores. Debe señalarse que el formato de la célula de ADTV puede transcodificarse fácilmente a RDSI-B (red digital de servicios integrados de banda ancha), proporcionando así un trayecto para futuros servicios de información.

### 3.3.2.4 Sistema ATVA-P

Los 15,64 Mbit/s de información vídeo digital se multiplexan con 0,5 Mbit/s para 4 canales audio digitales, un tren de datos auxiliares de 0,126 Mbit/s, y control de acceso de 0,126 Mbit/s para formar el tren digital compuesto de 19,43 Mbit/s cuando se agrega la corrección de errores. Se dispone del tren de datos auxiliar para la transmisión de leyendas cerradas u otros datos digitales. En el tren de bits transmitidos se insertan bits de sincronización con el fin de marcar los límites del cuadro. El receptor utiliza esas secuencias de bits únicas para establecer la sincronización de cuadro. El codificador codifica cada vez un cuadro. Los datos digitales de cada cuadro se transmiten por el siguiente orden: sincronización de cuadro, vectores de movimiento, canales audio, datos auxiliares, modulación y coeficientes de vídeo. Esta estructura de cuadro básica se repite para cada cuadro.

Antes de la transmisión, los datos digitales se procesan con un aleatorizador de secuencia que aleatoriza los bits transmitidos. El aleatorizador de secuencia se aplica como un generador lineal repetitivo con un polinomio generador de  $1 + \chi^{-18} + \chi^{-23}$ . La aleatorización se efectúa con los datos digitales a fin de garantizar que la secuencia de bits transmitida es suficientemente aleatoria para mantener la debida convergencia del igualador adaptable en el receptor durante periodos sin transmisión.

### 3.3.3 Protección contra errores

Además de la detección de errores incorporada en los códigos de verificación de redundancia cíclica utilizados en algunos sistemas, todos los sistemas emplean la corrección de errores en recepción (FEC). Todos los sistemas propuestos utilizan la codificación FEC de Reed-Solomon. Los códigos de Reed-Solomon son una de las diversas clases de códigos de bloques conocidas por su gran capacidad de corrección de errores. El código de Reed-Solomon de longitud de bloque  $N$ , los bits de datos  $K$  y la capacidad de corrección de errores de  $T$  o menos pueden describirse como velocidad  $K/N$  ( $t = T$ ).

El sistema DigiCipher emplea la codificación de Reed-Solomon a la velocidad de 106/116 ( $t = 5$ ) para 16-MAQ y 145/155 ( $t = 5$ ) para 32-MAQ, además de la codificación de retícula con una velocidad de 3/4 para 16-MAQ y de 4/5 para 32-MAQ. El umbral del sistema es 12,5 dB  $C/N$  para 16-MAQ y 16,5 dB  $C/N$  para 32-MAQ, incluidos 2,5 dB de margen de realización. Los datos de corrección de errores representan 6,17 Mbit/s.

Un segmento de datos en el sistema DSC-TVAD contiene un total de 171 bytes de datos. Utilizándose cuatro para sincronizar cada segmento de datos se dispone de un total de 167 bytes para información y control de errores. Se dejan 20 bytes para la codificación de Reed-Solomon a la velocidad de 147/167 ( $t = 10$ ). Esto permite corregir como máximo diez errores por segmento de datos, exactamente la mitad del número de bytes de paridad. El umbral para los errores visibles se alcanza con una relación señal/ruido de 16 dB para datos de 4 niveles, y 10 dB para datos de 2 niveles. La sincronización de «trama de datos» (vertical) consiste en una secuencia de datos pseudoaleatoria de un «segmento de datos» (línea horizontal) de duración, y sirve también de referencia para un cancelador de imágenes fantasma/igualador de canal en el receptor.

El sistema ADTV aplica la codificación de Reed-Solomon a los bytes de datos. Según la prioridad, se aplican a los datos diferentes cantidades de FEC. Además, como parte de las operaciones de codificación en el canal se realizan entrelazados de bytes de datos. De esta manera se garantiza el tratamiento de ráfagas de errores en el canal como errores de bytes aleatorios no correlacionados, lo cual puede corregirse con frecuencia mediante códigos de Reed-Solomon.

El sistema ATVA-P emplea la codificación de Reed-Solomon a la velocidad de 130/154 ( $t = 12$ ) para corregir errores de transmisión. El umbral del sistema es de 19 dB  $C/N$ , incluidos 2,5 dB de margen de realización. En 19 dB  $C/N$  habrá un evento de error no detectado por día. Los datos de corrección de errores representan 3,59 Mbit/s. La propagación de errores se limita a un bloque y los sistemas pueden recuperar la sincronización durante cada intervalo de cuadro.

### 3.4 Modulación

#### 3.4.1 Introducción

Se sabe desde hace tiempo que la transmisión de datos en forma digital presenta ventajas con respecto a la transmisión analógica. Con la transmisión digital, sólo cuando el ruido es suficientemente alto para convertir ceros en unos o unos en ceros interfiere con la entrega perfecta. Las técnicas de corrección de errores en recepción de que se dispone actualmente son utilísimas para impedir la corrupción de la señal mediante el error ocasional que puedan originar moderados niveles de ruido. Sin embargo, el sistema de transmisión digital ha de tratar las elevadas velocidades de datos que crea la codificación digital. Una señal de televisión de alta definición digitalizada a 8 bits por muestra crea un tren de datos de 1 Gbit/s aproximadamente. La compresión digital (codificación de la fuente) considerada actualmente en Estados Unidos de América reduce la velocidad de datos a unos 17 Mbit/s, que es un factor de reducción de unas 60 veces. Hace tan sólo pocos años no existía la tecnología para realizar este nivel de compresión.

#### 3.4.2 Métodos de modulación digital

La modulación digital es el resultado de los métodos más familiares de modulación analógica como modulación de amplitud, de frecuencia y de fase. Las técnicas de modulación digital se desarrollaron primero para módems telefónicos y para la transmisión de datos por satélite. Si bien las anchuras de banda de que se dispone para esas dos tecnologías varían de la frecuencia de audio a decenas de MHz, se aplica la misma teoría. Debido a la elevada velocidad de datos requerida por la TVAD – unos 20 Mbit/s después de la compresión y la corrección de errores –, y a la necesidad de limitar el espectro radiado al canal de TV de 6 MHz, es necesario utilizar ese canal con la mayor eficacia posible.

##### 3.4.2.1 Modulación de amplitud en cuadratura (MAQ)

Tres de los cuatro sistemas digitales propuestos DigiCipher, ADTV y ATVA-P utilizan MAQ. 16-MAQ es una forma digital de modulación de amplitud en cuadratura que transmite cuatro bits por símbolo (4 bits/Hz). El tren de datos de 20 Mbit/s aproximadamente se convierte primero en palabras de cuatro bytes denominadas símbolos. El «16» en el título significa que hay 16 símbolos diferentes posibles. La velocidad de símbolo es claramente la cuarta parte de la velocidad binaria original, o sea, unos 5 Msímbolos/s. Mediante un convertidor sencillo D/A se convierte un par de bytes del símbolo en una señal de cuatro niveles que se aplica a un modulador equilibrado junto a una portadora RF (o la frecuencia intermedia) en la otra entrada. El otro par de bytes de símbolo se convierte de la misma forma en una señal de cuatro niveles y se aplica a un segundo modulador equilibrado que opera en cuadratura con respecto al primero, es decir, con la portadora desplazada 90°. Las dos salidas de modulador equilibrado se combinan para producir la señal 16-MAQ, centrada en la portadora (o frecuencia intermedia). Esta señal de salida se mezclará luego con la frecuencia real transmitida.

En el receptor, también hay un par de moduladores equilibrados, excitados por un oscilador local (OL) desplazado 90° entre moduladores. El OL ha de estar enganchado en fase a la portadora original en el transmisor. En el receptor, la fase de la portadora se recupera de los datos mediante un complejo proceso, utilizando bucles con enganche de fase, proceso que no se considerará aquí. Las salidas de los moduladores equilibrados no son ondas

cuadradas, sino versiones redondeadas de las ondas cuadradas moduladoras de cuatro niveles, debido al filtrado para la limitación de anchura de banda del canal. En el receptor de 16-MAQ, la señal en fase y la señal en cuadratura, ambas de cuatro niveles, se convierten de nuevo en una señal digital de dos bits mediante un par de convertidores A/D. Los dos pares de bits resultantes se multiplexan luego para producir una réplica del tren de datos de 20 Mbit/s original.

### 3.4.2.2 *El espectro RF*

Para estimar la anchura de banda de la señal transmitida se considera la señal de modulación más ocupada posible que pasa a uno de los moduladores equilibrados. Se trataría de datos a 5 Mbit/s, alternando entre cero y uno, que es justamente una señal cuadrada a 2,5 MHz. Si limitamos en banda esta señal a poco más de 2,5 MHz, la salida del modulador equilibrado tendría una amplitud de 5 MHz, lo que permitiría ajustarla en un canal de 6 MHz con bandas de guarda de 0,5 MHz. También se podría dejar la señal moduladora de cuatro niveles sin filtrar, y filtrar el canal de 6 MHz, con el mismo efecto. La energía RF resultante de la estructura de datos alternativa se concentra en las dos frecuencias, con una separación de 5 MHz, cerca de las bandas de guarda. Para los datos reales también están presentes frecuencias moduladoras inferiores que cargan energía a través del canal.

Debido a la codificación de la fuente y a la codificación en el canal, los datos de modulación resultan aleatorios, incluso si la señal de vídeo no lo es. Esto da como resultado la dispersión de energía RF a lo largo de la banda de 6 MHz, como si se tratase de un ruido con filtrado de banda. Las señales de este tipo son sumamente resistentes a la interferencia cocanal, por la simple razón de que conducen a una tecnología de ensanchamiento del espectro. Como están ausentes las portadoras discretas, también suelen causar mucha menos interferencia a otras señales de lo que lo hacen las señales de potencia equivalente en los sistemas NTSC, PAL o SECAM. Además, se espera que la menor relación señal/ruido necesaria para la transmisión digital permitirá utilizar menos potencia en el transmisor. Estas consideraciones se conjugan para permitir la utilización de canales con restricciones en los actuales planes de atribución, con lo que pueden agregarse muchos nuevos canales de TVAD digital a lo que ha sido hasta ahora el espectro TV ocupado.

### 3.4.2.3 *Modulación de banda lateral residual (BLR)*

Un sistema propuesto, el DSC-TVAD, utiliza una modulación de 4-BLR y 2-BLR. La banda residual, que se utiliza para la transmisión en el sistema NTSC, es un compromiso factible entre la MA de doble banda lateral y la MA de banda lateral única. La banda lateral única no puede utilizarse con TV analógica debido a los problemas prácticos que plantea el filtrado de corte muy agudo necesario en frecuencias muy bajas, si bien es sumamente práctica para la transmisión audio, en la que pueden atenuarse las bajas frecuencias. En la doble banda lateral simplemente se necesita mucha anchura de banda para la TV. La banda lateral residual comprende una pequeña parte de la banda lateral inferior con la banda lateral superior completa. El filtrado agudo en el transmisor y en el receptor atenúa el extremo más bajo de la banda para compensar la duplicación de las bandas laterales de baja frecuencia. Para la BLR-TV analógica no se suprime la portadora.

La BLR no se enumera normalmente entre los métodos de modulación digital, ni se utiliza normalmente con una portadora suprimida. Como en razón de la naturaleza de la BLR es mucho más difícil recuperar una portadora suprimida de la BLR que de la MAQ, se necesita una portadora piloto. Se propone elegir la BLR debido al deseo de transmitir una portadora piloto en la frecuencia portadora suprimida para mejorar la adquisición del canal en el receptor, en condiciones de ruido. Una portadora piloto con MAQ se situaría en el centro de la banda de 6 MHz, y podría causar interferencia a NTSC. En la BLR, la portadora se encuentra cerca del fondo de la banda, donde los receptores NTSC tienen sus propios filtros BLR con una fuerte atenuación.

Como la modulación BLR transmite solamente una banda lateral completa, esa banda lateral puede extenderse casi a todo el canal de 6 MHz. Por tanto, la velocidad de símbolo (velocidad de modulación) ha de duplicarse con respecto a la de MAQ para la utilización eficaz del canal. Como la BLR carece de capacidad para transportar un canal en cuadratura, 4-BLR 16-MAQ permiten aproximadamente la misma velocidad de datos cuando se optimiza cada una en su propia manera con respecto al canal.

### 3.4.2.4 *Métodos de modulación en sistemas propuestos*

El sistema DigiCipher ofrece dos modos de transmisión: 32-MAQ a la velocidad de 24,39 Mbit/s, y 16-MAQ a la velocidad de 19,51 Mbit/s. El modo puede elegirlo el organismo de radiodifusión – 16-MAQ da una zona de cobertura más amplia, en tanto que 32-MAQ proporciona una calidad de vídeo mejor – y los receptores se configurarán automáticamente al modo de transmisión utilizado. Se pretende que el modo 32-MAQ permite esencialmente una recepción sin errores con una relación portadora/ruido de 16,5 dB; para el modo 16-MAQ, este umbral es de 12,5 dB. La velocidad de símbolos es de 4,88 Msímbolos/s.

El sistema DSC-TVAD utiliza una combinación de modulación 4-BLR y 2-BLR, lo que significa una modulación de banda lateral residual de cuatro niveles y dos niveles. La velocidad de símbolos es de 10,76 Msímbolos/s. Algunos datos se transmiten a 1 bit/símbolo y otros a 2 bits/símbolo. La velocidad de datos resultante varía de 11,1 a 21,0 Mbit/s. Se utiliza una portadora piloto, por lo que se requiere una mejor adquisición de la señal en condiciones de ruido.

El sistema ADTV utiliza 16-MAQ, a una velocidad de 21 Mbit/s. La velocidad de símbolos es de 5,25 Msímbolos/s. Se dice que la forma del espectro reduce la interferencia causada a NTSC y producida por él.

El sistema ATVA-P utiliza 16-MAQ, a una velocidad de 19,43 Mbit/s. La velocidad de símbolos es de 4,86 Msímbolos/s. Se pretende esencialmente una recepción sin errores, un evento con errores no detectado al día, y una relación portadora/ruido de 19 dB.

### 3.4.3 Igualación del canal

El receptor del sistema TVAD DigiCipher utiliza un igualador adaptable de 256 ramas para tratar las distorsiones de trayectos múltiples. Puede tratar un eco o varios en la gama de  $-2$  a  $+24$   $\mu$ s.

El sistema DSC-TVAD tiene un cancelador de imágenes fantasma/igualador de canal automático. Las imágenes fantasma múltiples pueden tratarse en la gama de  $-4$  a  $+20$   $\mu$ s.

El sistema ADTV está provisto de un igualador de canal adaptable para combatir los efectos de la propagación por trayectos múltiples y las imágenes fantasmas. Está concebido para funcionar hasta 16  $\mu$ s, y puede ampliarse a 40  $\mu$ s.

El sistema ATVA-P utiliza la igualación adaptable para tratar reflexiones por trayectos múltiples observadas en la radiodifusión terrenal típica, y microrreflexiones observadas en la TV por cable. El igualador cancelará trayectos múltiples complejos hasta 2  $\mu$ s, así como una sola reflexión con longitud de trayectos múltiples hasta 32  $\mu$ s.

### 3.4.4 Forma del espectro

Para la forma del espectro, los sistemas DigiCipher y ATVA-P utilizan un filtro digital de respuesta de fase lineal e impulso finito.

El sistema DSC-TVAD utiliza preprocesamiento en el codificador para el filtro de interferencia NTSC en el receptor. Dispone también de selectividad lateral, tanto en el lado de banda lateral residual como en el lado de alta frecuencia. La selectividad lateral se divide entre el transmisor y el receptor, disposición que se considera óptima para la relación señal/ruido. Se utiliza la dispersión para impedir que la sincronización de segmento de datos periódica cause interferencia al NTSC.

El sistema ADTV utiliza MAQ de forma espectral (MAQ-SS) para lograr sus objetivos de gran eficiencia espectral y robustez del NTSC y fácil funcionamiento del NTSC.

## 3.5 Acomodación del espectro

### 3.5.1 Introducción

En Estados Unidos de América se está considerando activamente la manera de proporcionar la emisión terrenal de señales de TVAD en las atribuciones en ondas métricas y decimétricas existentes. Los análisis muestran que tal vez sea necesario reducir las distancias de compartición de un canal a un mínimo de 160 km si se quiere que la inmensa mayoría de los organismos de radiodifusión terrenales existentes (más del 97%) dispongan de un servicio TVAD además de su capacidad de NTSC. Se están investigando actualmente la cobertura de TVAD y los niveles de interferencia cocanal aceptables de esas separaciones.

En esta sección se describen algunas de las técnicas que se espera utilizar con el fin de determinar si se dispone de suficiente espectro para proporcionar esos servicios adicionales; comprenden la evaluación de la necesidad de mantener las restricciones de canales de ondas decimétricas aplicadas actualmente al NTSC, análisis de zonas de cobertura efectivas, y elaboración de metodologías de adjudicación/asignación.

### 3.5.2 Evaluación de las restricciones

Cuando se elaboró el plan de adjudicaciones en ondas decimétricas para Estados Unidos de América en los primeros años 1950, se impusieron restricciones a ciertas separaciones de canales con el fin de acomodar las limitaciones de interferencia existentes entonces en los sistemas de transmisión/recepción del NTSC. Esas limitaciones de interferencia se denominaron restricciones. La naturaleza de esas restricciones se describe en el § 3.5.5. Se ha

formulado la hipótesis preliminar de que la manera de proporcionar suficiente espectro adicional en las bandas de ondas métricas y decimétricas para el nuevo servicio TVAD es utilizar una distancia de compartición mínima de un canal de 160 km y evitar la aplicación de restricciones. En este caso puede proporcionarse una asignación ADTV prácticamente a todas las estaciones de radiodifusión terrenales NTSC (más del 97%) existentes (unas 1700). Como convendría evitar las restricciones, es importante conocer las características de interferencia de los sistemas TVAD propuestos, y saber si es necesario proteger permanentemente ciertos canales con restricciones. Se ha desarrollado un algoritmo para analizar el efecto que puede tener el mantenimiento de ciertas restricciones para posibles planes de adjudicaciones. A continuación se describen los escenarios analizados. Todos los escenarios de planes de adjudicaciones se realizaron partiendo del supuesto de una distancia de compartición de un canal de 160 km. Todos se basan estrictamente en consideraciones geométricas (distancia de compartición de un canal de 160 km y distancias entre canales restringidos), sin ninguna hipótesis sobre la inmunidad a la interferencia. Procede señalar que, en el § 3.5.5, las reglas restrictivas se expresan en distancia (km) y no en relaciones D/U. Excepto para el oscilador de canal restringido ( $n + 7$ ), en los análisis descritos aquí se utilizaron todos los mecanismos restrictivos descritos en el § 3.5.5.

**3.5.2.1 Escenario TVAD/NTSC**

En el escenario TVAD/NTSC se examina el impacto de las restricciones individuales y múltiples sobre la disponibilidad de espectro aplicando la separación restrictiva de canales por igual a las estaciones, las NTSC existentes y a los nuevos canales asignados ATV. Este escenario es el más restrictivo de los tres.

**3.5.2.2 Escenario NTSC**

En el escenario NTSC se examina la disponibilidad de espectro TVAD aplicando la separación restrictiva de canales para nuevos canales TVAD sólo a las asignaciones NTSC existentes. Se parte del supuesto de que los nuevos receptores TVAD contarán con un nuevo diseño mejorado y tolerancias de fabricación que eliminarán prácticamente esos efectos de interferencia para el nuevo servicio TVAD.

**3.5.2.3 Escenario NTSC/coubicación**

En el tercer escenario se examina la disponibilidad de espectro TVAD aplicando la separación restrictiva de canales solamente a las asignaciones NTSC existentes, como en el escenario NTSC. Sin embargo, permite la coubicación exacta del canal restringido con el canal NTSC asociado. Este escenario es el menos restrictivo de los tres.

En el cuadro 1 se muestra el número de asignaciones perdidas para cada uno de los tres escenarios cuando se retienen diversas combinaciones de los canales restringidos.

CUADRO 1  
Resultados combinados de escenarios y canales restringidos

Canal restringido	Escenario TVAD (1)	Escenario NTSC (1)	Escenario NTSC/coubicado (1)
$n \pm 1$	93	63	30
$n \pm 1, +14, +15$	338	156	75
$n + 2, \pm 3, \pm 4, \pm 5$	70	50	3
$n + 4, \pm 7, \pm 8$	19	11	1
$n \pm 2, \pm 3, \pm 4, \pm 5, \pm 7, \pm 8$	135	98	11
$n \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \pm 5, \pm 7, \pm 8, +14, +15$	483	304	153

(1) El valor denota el número de asignaciones TVAD perdidas reteniendo los canales restringidos indicados; en otras palabras, el número de estaciones que no pueden acomodarse.

### 3.5.2.4 Conclusiones

Los resultados de estos análisis conducen a las siguientes conclusiones:

- Si se retienen todos los canales con restricciones NTSC, no es posible la acomodación total TVAD para los concesionarios existentes. Utilizando el tercer escenario con restricciones descrito anteriormente, sólo pueden acomodarse el 91% de todos los concesionarios existentes. Con el primer escenario, el porcentaje disminuye el 72%.
- Independientemente del escenario considerado, se determinó la restricción de la imagen ( $n + 15$ ) con el fin de lograr las peores estadísticas de acomodación para TVAD, en tanto que con batidos de FI restringidos ( $n + 4, \pm 7, \pm 8$ ) se obtuvieron las mejores.
- Salvo para las restricciones de la imagen ( $n + 14, n + 15$ ), el efecto de modificar las restricciones de separación de los canales influye poco en las estadísticas de acomodación de TVAD.
- Con una coubicación exacta del canal con restricciones mejoran las estadísticas de acomodación de TVAD. La coubicación próxima de los canales con restricciones permite mejorar moderadamente las estadísticas de acomodación ATV en el caso de los canales con restricciones adyacente y de imagen; sin embargo, la coubicación próxima mejora considerablemente las estadísticas para todos los demás canales con restricciones.

### 3.5.3 Análisis de cobertura y de interferencia

El asunto de mayor interés para una estación de radiodifusión es el alcance de la zona de cobertura. El plan de adjudicaciones NTSC original se estableció sobre la base de consideraciones teóricas limitadas al ruido, modificado en algunas regiones geográficas para limitarse a la interferencia con el fin de acomodar estaciones adicionales. En la práctica, algunas de las estaciones existentes tienen zonas de cobertura limitadas también por la interferencia. Al considerar la cobertura de un sistema TVAD digital se ha perseguido la finalidad de proporcionar una zona de cobertura comparable. Actualmente se están desarrollando técnicas para optimar la cobertura de servicios de TVAD. Un objetivo deseable es que una estación de TVAD tenga la misma zona de cobertura que la estación de NTSC homóloga en el mismo emplazamiento.

#### 3.5.3.1 Cobertura del NTSC

Las ubicaciones y las adjudicaciones de espectro de las estaciones de NTSC se determinan sobre la base de las distancias de separación y los límites de la potencia del transmisor y la altura de la antena. En las figs. 1 y 2 se indica el número de estaciones de NTSC en ondas métricas y decimétricas existentes actualmente cuyo servicio de grado B resulta afectado por estaciones del mismo canal y del canal adyacente, respectivamente.

#### 3.5.3.2 Zona de servicio de las estaciones de TVAD

En vista de la necesidad de disponer de estaciones de TVAD poco separadas, es de esperar que las zonas de servicio de las estaciones de TVAD tengan una interferencia limitada. El Comité Consultivo de la FCC está elaborando dos técnicas:

- para determinar una zona de servicio de TVAD equivalente a la de una estación de NTSC, y
- permitir la determinación de la zona de servicio en función de las características de interferencia de los sistemas propuestos, características que está determinando actualmente el «Advanced Television Test Center» (ATTC).

El ATTC está midiendo las relaciones D/U (señal deseada/señal no deseada) de la TVAD en el NTSC, del NTSC en la TVAD, y de la TVAD en la TVAD. Sobre la base de las relaciones D/U obtenidas se desarrollarán modelos para estimar zonas de cobertura compatibles con los servicios de radiodifusión de NTSC actuales.

#### 3.5.3.3 Zona de servicio efectiva

La zona de servicio efectiva de una estación de TV es la zona resultante de los contornos de interferencia que inciden en la zona de servicio de otras estaciones de televisión.

#### 3.5.3.4 Zona de servicio propuesta

Se están desarrollando métodos que definirán la zona de cobertura disponible a partir de determinado sistema propuesto en presencia de interferencia NTSC. Esto se realizará utilizando un modelo que toma los umbrales de interferencia y ruido del receptor medidos por el ATTC, y los relaciona con las zonas de servicio y de interferencia.

FIGURA 1

Distribución del número de estaciones co-canal que influyen en el servicio de grado B de estaciones NTSC existentes

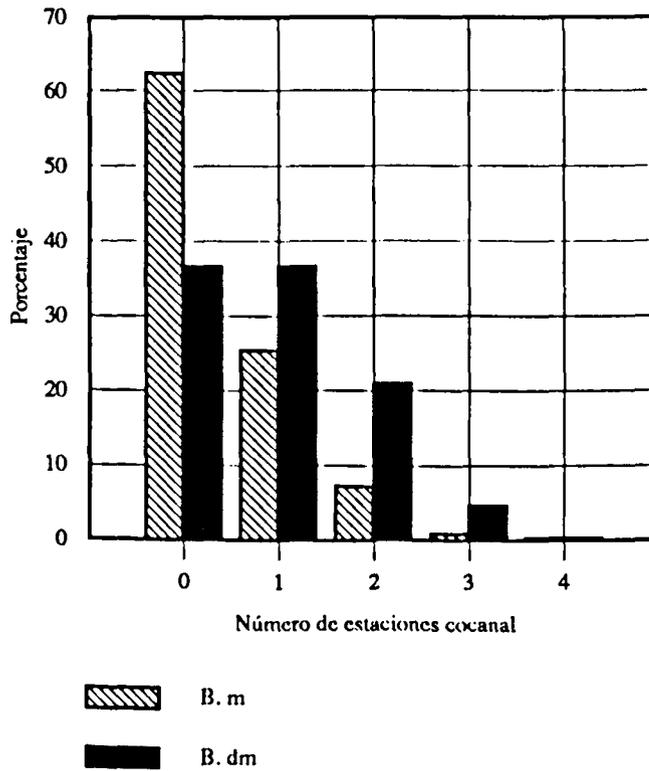
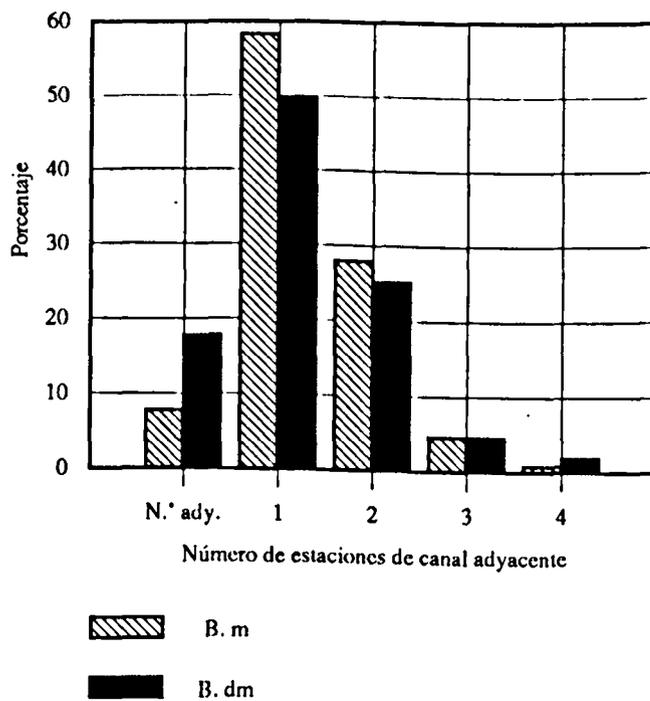


FIGURA 2

Distribución del número de estaciones de canal adyacente que influyen en el servicio de grado B de estaciones NTSC existentes



### 3.5.4 *Plan de asignaciones/adjudicaciones*

Para elaborar un plan de adjudicaciones para la TVAD, es preciso reconocer ciertas hipótesis o principios, que sirvan de base para desarrollar un plan de adjudicaciones.

#### 3.5.4.1 *Principios*

Los principios que está considerando el Comité Consultivo de la FCC como base para la planificación de adjudicaciones de TVAD son:

a) *Emparejar adjudicaciones de ATV con adjudicaciones de NTSC existentes*

Debe identificarse un canal de TVAD y asociarse con cada una de las adjudicaciones en ondas métricas y decimétricas existentes. Esto proporciona la base fundamental para un plan de TVAD, y sirve de línea de referencia para la aplicación.

b) *Cobertura comparable*

Un objetivo deseable del plan de adjudicaciones (cuando se aplica para convertirlo en asignaciones reales) es que sea capaz de proporcionar a todas las estaciones de NTSC existentes una zona de servicio de TVAD comparable a la zona de servicio actual limitada por la interferencia de las estaciones con las que se empareja.

c) *Utilización de emplazamientos existentes*

En la medida de lo posible debe establecerse el plan de asignaciones, basándose en la utilización de los emplazamientos existentes del transmisor para la señal de TVAD.

d) *Límites de separación*

Se está elaborando el plan de adjudicaciones fundamentalmente sobre la base de distancias de separación mínimas entre estaciones cocanal.

e) *Modelos de adjudicación*

Como prácticamente hay miles de combinaciones posibles de la asociación por pares de adjudicaciones de TVAD con adjudicaciones de NTSC, es necesario utilizar algoritmos de optimización para determinar una distribución factible de adjudicaciones.

f) *Espectro restringido*

Como el espectro de ondas métricas y decimétricas no se utiliza como consecuencia de consideraciones de restricción en los planes de adjudicaciones en ondas métricas y decimétricas de NTSC existentes, puede emplearse selectivamente, en caso necesario, para proporcionar adjudicaciones de TVAD.

g) *Interferencia TVAD/NTSC*

Un objetivo del plan de TVAD es minimizar la interferencia causada por una estación de TVAD a una zona de servicio NTSC u otra zona de servicio de TVAD. Un objetivo deseable es que el nivel de interferencia previsto no sea superior al considerado actualmente como interferencia aceptable entre estaciones NTSC existentes.

h) *Paralización de parámetros de asignaciones de NTSC*

Con el fin de conocer la frecuencia y las dimensiones espaciales disponibles para elaborar el plan de TVAD, deben paralizarse en un momento determinado ciertas variables en la aplicación de las adjudicaciones NTSC existentes. Esto significa la paralización, en algún momento, de las ubicaciones de los transmisores existentes. De esta manera se ayudará a establecer las condiciones de los límites dentro de los cuales puede desarrollarse el plan de TVAD.

j) *Adjudicaciones vacantes*

El espectro atribuido actualmente pero no utilizado puede necesitarse para lograr la acomodación ATV completa de todas las estaciones existentes. Por tanto, en la medida necesaria, tal vez haya que utilizar un mínimo de esas adjudicaciones. El número afectado de adjudicaciones vacantes debe ser lo más reducido posible, y utilizarse solamente cuando se impida el funcionamiento de una asignación.

k) *Sistema receptor*

Al determinar la zona de servicio limitada por la interferencia comparable deben tenerse en cuenta las características de un sistema receptor TVAD típico. Esas características comprenderán parámetros de la antena como la relación anterior/posterior, y parámetros del sistema como capacidad de rechazo sintonizador/decodificador.

### **3.5.4.2 Plan de adjudicaciones/asignaciones**

Estos principios generales constituyen la base para desarrollar un plan de adjudicaciones de un servicio de TVAD. El objetivo es proporcionar un servicio de TVAD con zonas de cobertura equivalentes a las estaciones de NTSC existentes.

La selección se realiza utilizando algoritmos de optimización que buscan combinaciones de canales en las zonas más congestionadas para hallar espectro disponible.

### **3.5.5 Mecanismos restrictivos de interferencia NTSC**

#### **3.5.5.1 Separación geográfica para la intermodulación (Canales $n \pm 2, \pm 3, \pm 4, \pm 5$ ) = 32,2 km**

La interferencia de intermodulación es el resultado de una combinación de señales de entrada tal que sus sumas y diferencia dan productos de frecuencias parásitas que se distribuyen en una porción de once canales. Por esa razón, las reglas de la Comisión para el NTSC impiden la ubicación próxima de estaciones separadas por dos, tres, cuatro o cinco canales (también se excluye el primer canal adyacente, pero con un requisito de separación más restrictivo).

#### **3.5.5.2 Separación geográfica para la modulación cruzada (Canales $n \pm 2, \pm 3, \pm 4, \pm 5$ ) = 32,2 km**

La interferencia de modulación cruzada abarca el mismo grupo de canales que la intermodulación, pero difiere el mecanismo. En la interferencia de modulación cruzada, la modulación del canal no deseado se superpone a la modulación del canal deseado. La primera prueba de esa interferencia procede normalmente de los límites vertical y horizontal del canal no deseado que se observan en el canal deseado.

#### **3.5.5.3 Separación geográfica para el oscilador local (Canal $n + 7$ ) = 95,7 km**

El oscilador local de un receptor de televisión se sintoniza a una frecuencia que corresponda al séptimo canal por encima del canal deseado, con el fin de producir batidos que caigan en la banda de frecuencias intermedias (FI), que va de 41 a 47 MHz. Puede considerarse que ese oscilador local es un transmisor de baja potencia. En receptores antiguos pasa suficiente energía del oscilador local a la antena, a través del sintonizador, por lo que puede causarse interferencia a un receptor próximo sintonizado en el séptimo canal. Por tanto, la FCC ha limitado la utilización del séptimo canal a estaciones separadas al menos por 95,7 km (59,5 millas). En los receptores modernos hay muy poca fuga del oscilador local hacia la antena de receptor, por lo que se coincide generalmente en que el oscilador con restricciones no tiene ya gran utilidad.

#### **3.5.5.4 Separación geográfica para el batido en frecuencia intermedia (Canales $n \pm 7, \pm 8$ ) = 32,2 km**

Cuando dos señales fuertes están separadas por la frecuencia intermedia utilizada universalmente en los receptores NTSC (41-47 MHz), existe la posibilidad de batido mutuo y de que se produzca una señal interferente en la sección del amplificador FI del receptor. La gama de señales que producen este fenómeno se da en situaciones en que las estaciones tienen una separación de frecuencia de 7 u 8 canales.

#### **3.5.5.5 Separación geográfica para la frecuencia intermedia mitad ( $n + 4$ ) = 32,2 km**

Las señales que caen en el cuarto canal por encima del canal deseado tienen posibilidades de batido con el oscilador local sintonizado en el canal deseado para producir una señal de frecuencia intermedia mitad. En el circuito no lineal del detector del primer receptor puede generarse la segunda armónica de esa señal de frecuencia intermedia mitad y causar interferencia al canal deseado.

#### **3.5.5.6 Separación geográfica para la imagen (Canal $n + 14$ ) = 95,7 km, (Canal $n + 15$ ) = 119,9 km**

El oscilador local de un receptor de televisión se sintoniza aproximadamente a una frecuencia superior en 47 MHz al borde inferior del canal deseado. Cuando esa frecuencia del oscilador local y la señal del canal deseado se encuentran con el primer detector del receptor, el batido de diferencia cae en el canal de frecuencia intermedia de 41-47 MHz. Sin embargo, una señal no deseada por encima de la frecuencia del oscilador producirá también una señal que cae en la banda de paso de frecuencia intermedia del receptor. Para la portadora de imagen, el canal crítico es el decimoquinto por encima del canal deseado. Para la portadora de sonido, el canal crítico es el decimocuarto por encima del canal deseado.

### 3.6 Comparación de sistemas propuestos

#### 3.6.1 Prueba de sistemas terrenales de TVAD digital

Para ayudar a la FCC, la industria de radiodifusión de televisión de Estados Unidos de América organizó el Advanced Television Test Center (ATTC) en 1988, al que se unió en 1989 la industria de fabricación de receptores de televisión. El ATTC es una organización privada sin fines de lucro creada para realizar pruebas completas, justas e imparciales de los diversos sistemas ATV propuestos como norma de radiodifusión terrenal en Estados Unidos de América.

De la misma forma, la industria de televisión por cable de Estados Unidos de América organizó sus propias actividades de investigación y desarrollo con carácter general, y en 1988 creó Cable Television Laboratories (CableLabs). Si bien las industrias de radiodifusión y Cable TV han discutido acerca de una empresa común para evaluar los sistemas propuestos antes de que se organizaran el ATTC y CableLabs, lo que se ha logrado, en realidad, es una actividad conjunta de pruebas que agrupa los recursos del ATTC y de CableLabs. El ATTC tiene una moderna instalación de pruebas en laboratorio en Alejandría (Virginia-USA) capaz de evaluar a fondo los sistemas propuestos en un entorno de radiodifusión terrenal. En el mismo lugar, CableLabs explota una moderna instalación de pruebas en laboratorio capaz de evaluar a fondo los sistemas propuestos transmitidos por Cable TV, incluidas las transmisiones por cable coaxial y por fibra óptica.

En el mismo periodo, la industria canadiense y el Gobierno de Canadá han establecido una instalación complementaria en Ottawa para probar todos los sistemas propuestos en un entorno de pruebas subjetivo debidamente calibrado. Todas las pruebas subjetivas en que intervienen observadores medios se realizarán en Ottawa, en el Advanced Television Evaluation Laboratory (ATEL). El ATEL se estableció en la dirección del Communications Research Centre (CRC) del Departamento de Comunicaciones del Gobierno canadiense.

Actualmente está programada la prueba de cuatro sistemas digitales por el ATTC, CableLabs y ATEL. En el cuadro 2 se muestran los sistemas y sus fechas de prueba programadas. Se realizarán pruebas objetivas y subjetivas de todos los sistemas.

**CUADRO 2**  
**Sistemas de transmisión de televisión TVAD digital propuestos**  
**al Comité Asesor de la FCC\***

Nombre y proponente(s) del sistema (por orden de secuencia de pruebas)	Fechas de prueba programadas (1)
1. DigiCipher General Instrument Corporation/ATVA (2)	14 noviembre 1991 a 7 enero 1992
2. DSC-TVAD: TVAD digital de espectro compatible Zenith Electronics Corporation/AT&T	14 enero 1992 a 2 marzo 1992
3. ADTV: Televisión digital avanzada North American Philips/ATRC (3)	9 marzo 1992 a 22 abril 1992
4. ATVA-Progresiva Massachusetts Institute of Technology/ATVA (2)	29 abril 1992 a 15 junio 1992

\* Según datos proporcionados por proponentes a ATTC.

(1) Programa oficial de 7 de junio de 1991.

(2) American Television Alliance (General Instrument, Massachusetts Institute of Technology).

(3) Advanced Television Research Consortium (NBC, North American Philips, David Sarnoff Research Center, Thomson Consumer Electronics).

Con las pruebas objetivas y subjetivas se trata de afrontar varios desafíos esenciales que plantean la radiodifusión y la transmisión por cable:

- el uso proyectado de canales normalizados de 6 MHz para transportar un contenido de imagen mucho mayor en un servicio de televisión avanzado;
- la resistencia del sistema ante la interferencia y otras degradaciones de transmisión; y
- la capacidad del sistema para coexistir con el servicio de televisión NTSC actual.

En vista de la importancia de la evaluación comparada, se aplicará en todos los casos un plan de prueba común, con pruebas individuales «propias del sistema» con las que se espera considerar las distintas peculiaridades de cada sistema. El ATTC y CableLabs realizarán evaluaciones objetivas técnicas de la naturaleza y la calidad de funcionamiento de cada sistema en un entorno simulado de radiodifusión o transmisión por cable, respectivamente. Mediante «observadores expertos», es decir, ingenieros de televisión formados y otros analistas, se determinará la gama en que cada sistema resulta afectado en primer lugar por una degradación particular de transmisión y, finalmente, deja de funcionar o ya no puede observarse. Las señales de salida resultantes en esta gama para cada sistema se registran en cintas magnéticas de vídeo digitales, que se envían a ATEL en Canadá. Esas cintas magnéticas de vídeo se utilizarán para la evaluación subjetiva en Canadá por «observadores no expertos» – canadienses y americanos – de la calidad de funcionamiento de cada sistema en la gama establecida. La base del plan para esta importante evaluación subjetiva la constituyen las técnicas tradicionales, concebidas y utilizadas en el CCIR, y otros procedimientos de extrapolación, más algunos nuevos.

También se efectuarán análisis objetivos y subjetivos de los elementos audio de cada sistema, dirigidos por el ATTC.

Los resultados objetivos técnicos de los trabajos de Alejandría y las evaluaciones subjetivas de los trabajos de Ottawa se combinarán para representar el Informe de las pruebas de laboratorio sobre cada sistema. En realidad, incluso cuando llegue el segundo sistema y comience a experimentarse en Alejandría se estarán estudiando en Canadá cintas del primer sistema probado en Alejandría. Este proceso paralelo de evaluación, que refleja los procedimientos y las metodologías de prueba concebidos y analizados en Estados Unidos de América y Canadá, representa una extraordinaria empresa mixta. Supone el ahorro de tiempo y de dinero para los numerosos analistas de normas que intervienen, así como para quienes proponen el sistema. Se piensa proceder a una comparación instantánea de los sistemas de transmisión de televisión, operando en tiempo real, con todo el equipo y facilitar la mejor comprensión posible de las opciones sobre una norma práctica.

En este programa se prevén asimismo algunas pruebas prácticas. Si bien la planificación se está realizando actualmente en el ACATS, se espera proceder lo antes posible al sistema o sistemas cuya experimentación en el laboratorio justifique las pruebas prácticas. Esa prueba definitiva en el «mundo real» ha de realizarse antes de confirmar y aplicar razonablemente una nueva norma.

Las evaluaciones subjetivas abarcarán dos importantes cuestiones: primera, si los observadores medios «no expertos» perciben diversas condiciones de interferencia y otras degradaciones como objetables, admisibles o inadmisibles, y en los mismos niveles que los observadores «expertos»; y segunda, cómo evalúan los observadores medios la calidad inherente de las imágenes de determinado sistema con respecto a la imagen de referencia de mejor calidad. Los materiales de prueba para esas evaluaciones subjetivas estarán constituidos por catorce imágenes estáticas, derivadas de fotografías, y dieciocho escenas dinámicas, extraídas de vídeos y películas. Cada escena, tanto fija como en movimiento, la ha concebido un grupo de especialistas que trabajan en el ACATS. Guiados en gran medida por sus participantes psicofísicos, el grupo concibió materiales de prueba especiales no distintos de las escenas de televisión «típicas», pero también apropiados para ayudar a aislar cada elemento objeto de estudio en la prueba utilizando esa escena; por ejemplo, resolución reproducción con movimiento, calidad relativa de luminancia y crominancia, etc.

Cada imagen estática se convierte en los cuatro formatos de exploración diferentes requeridos por el sistema para experimentarlos utilizando un sistema de procesamiento de la imagen digital comercial modificado especialmente. Las secuencias de movimiento derivadas de fuentes de vídeo se han producido de acuerdo con los requisitos del ACATS, tomando cada escena en cada uno de los cuatro formatos de exploración, en la forma especificada por los proponentes, más NTSC. Como no se dispone de magnetoscopios digitales para los formatos de exploración de entrelazado de 1 050 líneas y progresivo de 787,5 líneas, hay que hallar una solución para registrar las señales con el fin de lograr un «nivel básico de reproducción» para los materiales de prueba de todos los proponentes. Esto ha sido técnicamente posible merced a la utilización de un convertidor de formato que convierte la salida de la cámara analógica de cada uno de esos formatos de exploración en forma digital y luego reestructura los datos

resultantes para poderlos registrar en un magnetoscopio digital de alta definición de 1125 líneas disponible en el mercado. Las cintas resultantes se reproducen mediante el convertidor de formato, y las escenas se reestablecen a su formato original; se trata de un proceso transparente que permite que todos los materiales de prueba sean «idénticos» y repetibles. La utilización del convertidor de formato permite asimismo registrar todos los resultados de las pruebas para archivarlos y utilizar cintas grabadas previamente para la prueba subjetiva en vez de cámaras y del equipo propuesto funcionando permanente.

El estimulante procedimiento para ajustar el material de vídeo, que requiere una cuidadosa adaptación de la acción, la iluminación y los ángulos para lograr materiales de prueba «idénticos» en cada formato requerido se realizó bajo la dirección general de un grupo de especialistas del ACATS. El propio trabajo de vídeo lo efectuó un importante estudio de Nueva York, bajo la supervisión del jefe de ATEL, que realizará a su vez las pruebas subjetivas utilizando esos materiales.

### **3.6.2 Valores de parámetros de sistemas de radiodifusión terrenal de TVAD digital**

En los últimos doce meses, la identidad de los proponentes de la televisión avanzada y sus diseños de sistema han cambiado considerablemente en Estados Unidos de América. El primer sistema TVAD totalmente digital se propuso en junio de 1990, seguido de la sustitución de tres de los sistemas híbridos propuestos anteriormente con diseños totalmente digitales. Todos los proponentes de sistemas totalmente digitales sostienen que sus sistemas pueden proporcionar una verdadera calidad de imagen TVAD en la zona de servicio completa de una estación. Se presagia que los métodos totalmente digitales serán más flexibles, ofrecerán una mejor compresión de anchura de banda, permitirán la grabación sin ruido en el estudio y en el hogar, estarán exentos de ruido, interferencia o acumulación de imágenes fantasma del procesamiento en cascada y/o de segmentos de transmisión en cascada, y proporcionarán sinergia con otro equipo de comunicaciones y de informática. La calidad de funcionamiento y las características de un sistema dependen de las filosofías para concebirlo; por ejemplo, algunos sistemas propuestos insisten en la resolución de la imagen, en tanto que otros insisten en una buena transmisión. Con una velocidad de datos total fija, la atribución de datos es una cuestión de transacción.

A continuación se reproduce un cuadro de atributos, características y procesos de sistemas de radiodifusión terrenal TVAD digital para comparar los sistemas digitales propuestos. Todos los datos reunidos en el cuadro 3 se basan en las descripciones técnicas sometidas por los proponentes del Advisory Committee on Advanced Television Service de la Federal Communications Commission de Estados Unidos de América. Un espacio en blanco significa que la información no se ha extraído de los textos existentes. Los datos facilitados aquí pueden sufrir cambios, pues todavía se están optimando esos sistemas propuestos.

## **3.7 Armonización**

Los sistemas TVAD digital pueden facilitar la interoperabilidad entre sistemas de imagen de alta resolución. La selección de un sistema de televisión avanzada con los atributos necesarios para la interoperabilidad armonizará el intercambio de imágenes fijas y en movimiento de diversas fuentes.

### **3.7.1 Beneficios de la interoperabilidad**

Los futuros beneficios de las tecnologías de vídeo y otras tecnologías de imágenes mejorarán considerablemente si puede realizarse y organizarse en forma económica el intercambio universal de toda clase de imágenes y secuencias de imagen. El último beneficiario es el consumidor, quien podrá optar por información de imagen de toda clase en la forma que elija, y en cualquier momento, a un precio abordable.

Los rápidos avances en semiconductores digitales, comunicaciones digitales y algoritmos de procesamiento digital permitirán adaptar la tecnología de vídeo a aplicaciones concretas (en cuanto a calidad de la imagen, precio, formato y calidad de funcionamiento). Tal diversidad en el mercado del vídeo sólo será positiva si es fácil desenvolverse en diferentes formatos, aplicaciones, industrias y medios. La idea fundamental es suprimir los obstáculos al interfuncionamiento entre formatos múltiples, de manera que las fuerzas del mercado puedan orientar la evolución de productos y servicios.

### **3.7.2 Posibles inconvenientes de la interoperabilidad**

Hay costes económicos asociados a la inclusión de la interoperabilidad en la arquitectura de vídeo. Por ejemplo, el establecimiento de la flexibilidad deseada en un sistema TVAD de radiodifusión terrenal puede aumentar el coste de los receptores de TV. Y no sólo habrá costes adicionales evidentes debido a la adición de conectores e interfaces, sino que tal vez la arquitectura del sistema tenga que ser más compleja.

CUADRO 3

Cuadro de atributos, características y tratamientos de sistemas de radiodifusión terrenal de TVAD digital

	DigiCipher	DSC-TVAD	ADTV	ATVA-P
Líneas por cuadro	1 050	787/788	1 050	787/788
Cuadros por segundo	29,97	59,94	29,97	59,94
Entrelazado	2:1	1:1	2:1	1:1
Velocidad de exploración horizontal (kHz)	31,469	47,203	31,469	47,203
Formato de imagen	16:9	16:9	16:9	16:9
Pixel vídeo activos	1 408(H) × 960(V) (luminancia) 350(H) × 480(V) (crominancia)	1 280(H) × 720(V) (luminancia) 640(H) × 360(V) (crominancia)	1 440(H) × 960(V) (luminancia) 720(H) × 480(V) (crominancia)	1 280(H) × 720(V)
Formato de imagen de los pixels	33:40	1:1	27:32	1:1
Anchura de banda (MHz)	21,5 (luminancia) 5,4 (crominancia)	34 (luminancia) 17 (crominancia)	27 (límite de Nyquist)	34 (luminancia) 34 (crominancia)
Colorimetría	SMPTE 240 M	SMPTE 240 M	SMPTE 240 M	SMPTE 240 M
Algoritmo compresión vídeo	Codificación TDC con compensación movimiento	Codificación de transformación con compensación movimiento (TDC y cuantificación vectorial)	Codificación TDC con compensación movimiento (base MPEG)	Codificación transformada/sub-banda con compensación movimiento
Tamaño del bloque	8 × 8	8 × 8	8 × 8	8 × 8
Frecuencia de muestreo (MHz)	53,65	75,3	54	75,3
Anchura de banda audio (kHz)	20	20	20	20
Frecuencia de muestreo audio (kHz)	48	47,203	48	48
Gama dinámica (dB)	85	96	96	
Número de canales audio	4	4	4	4

CUADRO 3 (Continuación)

	DigiCipher	DSC-TVAD	ADTV	ATVA-P
Velocidad de datos vídeo (Mbit/s)	12,59 (16 MAQ) 17,49 (32 MAQ)	Varía automáticamente de 8,6 a 17,1	14,98 (puede compartirse con audio y/o datos adicionales)	15,636
Velocidad de datos audio (Mbit/s)	0,503	0,5	0,512 (nominal)	0,5
Datos de control (kbit/s)	126	40 (reserva)	40 (datos)	126 (control de acceso)
Datos auxiliares (kbit/s)	126	413	512 (nominal)	126 kbit/s
Sincronización	Sin objeto	292 a 544 kbit/s	Sin objeto	Sin objeto
Datos totales (Mbit/s)	19,51 (16 MAQ) 24,39 (32 MAQ)	11,1 a 21,0 Mbit/s	21,00	19,43
Exceso corrección errores (Mbit/s)	6,17	1,3 a 2,4	23,6% (4,96)	3,042
Modulación RF (Terrenal)	16 MAQ 6 32 MAQ	BLR, 2 niveles y 4 niveles	MAQ, forma de espectro	16 MAQ
Anchura de banda 3 dB (Terrenal) (MHz)	4,88	5,38	5,2	4,86
Umbral C/N (Terrenal) (dB)	12,5 (16 MAQ) 16,5 (32 MAQ)	16 (datos 4 niveles) 10 (datos 2 niveles)	16	19
Igualación de canal (Cancelación imágenes fantasma) ( $\mu$ s)	-2 a +24 (imágenes fantasma múltiples)	-2 a +20 (imágenes fantasma múltiples)	16 (puede ampliarse a 40)	2 (trayecto múltiple complejo) 32 (un solo trayecto múltiple largo)
Modulación RF (Satélite)	MDP-4	MDM	MDP-4	
Anchura de banda (Satélite) (MHz)	24/2 canales	20/canal	24/2 canales	
Umbral C/N (Satélite) (dB)	7,5	8	8	

Nota 1 – Los datos pueden cambiar; han sido proporcionados por los proponentes; los métodos de medición pueden variar según los sistemas.

### **3.7.3 Tipos de interoperabilidad**

Existen posibilidades de interoperabilidad de la imagen a varios niveles o dimensiones: entre formatos de señales diferentes, entre medios de transporte diferentes, entre industrias diferentes, entre aplicaciones diferentes, entre épocas diferentes y entre entidades geopolíticas diferentes.

### **3.7.4 Importancia de la representación digital para la interoperabilidad**

La representación digital de las señales es el principal elemento para lograr la interoperabilidad de imágenes y sonido. En razón de la naturaleza de la señal, todos los sistemas que procesan la señal han de procesar material idéntico. La facilidad de almacenamiento, transporte y procesamiento de datos digitales corresponde a la mayor velocidad, potencia y economía de los semiconductores.

Una vez en forma digital, las señales pueden filtrarse y procesarse de manera predecible y reproducible, por lo que pueden realizarse conversiones entre formatos utilizando funciones seleccionadas sobre la base de teorías matemáticas como muestreo, interpolación y predicción.

### **3.7.5 Industrias con intereses en imágenes de alta resolución**

Si bien la industria tradicional de televisión recreativa se ha establecido en torno a un solo formato dominante (NTSC en Estados Unidos de América), las industrias de aplicaciones no recreativas han generado varios formatos para imágenes fijas y en movimiento. En algunos casos se ha utilizado el NTSC para aplicaciones no recreativas, aunque no siempre se han adaptado debidamente las capacidades de NTSC a las necesidades.

Al parecer, ahora muchos piensan que la tecnología ha llegado a un punto en que van a establecerse muchas normas nuevas, y no debe perderse la oportunidad de armonizar las diversas normas de imagen y sonido. Los partidarios de la armonización se encuentran sobre todo en las industrias informática, de gráficos por computador y telecomunicaciones, así como en las escuelas y universidades.

Para esas industrias, las ventajas de la interoperabilidad consisten en la posibilidad de compartir una tecnología común con el vasto mercado de televisión de consumo, con lo que aumenta el tamaño del mercado para aplicaciones de imagen y sonido con fines no recreativos.

### **3.7.6 Atributos específicos de la interoperabilidad**

A continuación se describen ciertos atributos específicos de sistemas relacionados con la imagen que contribuyen a la interoperabilidad.

#### **3.7.6.1 Representación digital**

Los sistemas DigiCipher, DSC-TVAD, ADTV y ATVA-P utilizan el procesamiento digital y la radiodifusión digital, por lo que satisfacen el principal requisito de la interoperabilidad: la representación digital de la señal.

#### **3.7.6.2 Exploración progresiva**

La exploración progresiva en una secuencia de imágenes en retículas simplifica, hasta cierto punto, el filtrado y la interpolación utilizados para la conversión entre formatos con diferentes números de líneas de exploración, diferentes números de muestras por línea y diferente muestreo temporal (es decir, frecuencia de imagen). Los sistemas DSC-TVAD y ATVA-P utilizan la exploración progresiva.

#### **3.7.6.3 Pixels cuadrados**

En los gráficos por computador, para la simple obtención de objetos que puedan transformarse después de la creación conviene utilizar una separación geométrica igual entre muestras horizontales en una línea y entre muestras desplazadas verticalmente. Los sistemas DSC-TVAD y ATVA-P utilizan pixels cuadrados.

#### **3.7.6.4 Provisión de títulos y descriptores en los datos**

Un importante sector de acuerdo entre los partidarios de la interoperabilidad y la armonización de imágenes y de vídeo es la conveniencia de incorporar títulos y descriptores en el tren de datos de imagen. La finalidad de los títulos y de los descriptores es identificar de manera segura e inequívoca la forma de los datos. Los títulos pueden comprender información sobre el origen, el procesamiento y la compresión de las imágenes o secuencias de imágenes. Los títulos pueden utilizar una pequeña parte de la capacidad de datos para la autoidentificación de las corrientes de datos de imagen.

Los sistemas DigiCipher, DSC-TVAD, ADTV y ATVA-P están previstos para datos auxiliares en forma digital. Parte de esa capacidad de canal de datos auxiliares puede utilizarse para títulos y descriptores con el fin de que los trenes de datos puedan autoidentificarse.

### **3.8 *Otros sistemas terrenales***

Para hacer llegar al público en general la TVAD digital se utilizarán varios sistemas de distribución terrenales. Esos sistemas, por ejemplo cable, distribución por microondas MMDS y redes de fibra óptica, tendrán sus propias limitaciones intrínsecas con respecto a la calidad de funcionamiento del canal de transmisión. Es importante que los sistemas elegidos sean inmunes a esas limitaciones del canal de transmisión. Algunas de las pruebas del plan experimental reflejan tales limitaciones. Por último, la calidad de la señal recibida debe ser independiente del medio de entrega al telespectador.

## **4. Conclusiones**

La radiodifusión terrenal de televisión digital se ha revelado factible con los imperativos de las bandas de ondas métricas y decimétricas existentes.

Se están estudiando en el mundo entero una serie de posibles técnicas de codificación de la fuente, codificación en el canal y modulación, y se tiene la esperanza de que esos trabajos permitan notables avances tecnológicos y una mejor calidad.

---