

## INFORME 632-4

**SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE  
(SONORA Y DE TELEVISIÓN)****Métodos de modulación más adecuados desde el punto de vista técnico**

(Cuestiones 2/10 y 11 ————— y Programas de Estudios 2B/10 y 11,  
2C/10 y 11, 2F/10 )

(1974-1978-1982-1986-1990)

**1. Introducción**

Para el servicio de radiodifusión por satélite, pueden utilizarse gran número de tipos de modulación, pero para determinada aplicación, la elección de uno de esos tipos de modulación depende de muchos factores. En este Informe, se indican algunas soluciones que pueden aplicarse en todas las bandas de frecuencias atribuidas a este servicio.

En lo que concierne a las bandas de 12 GHz, debe tenerse en cuenta que la CAMR-RS-77 efectuó la planificación del servicio de radiodifusión por satélite suponiendo que cada programa de televisión tendría un solo canal de sonido, transmitido por medio de una subportadora modulada en frecuencia de manera que ésta quedase situada en el espaciamiento entre portadoras del sistema de televisión utilizado en la zona de servicio considerada. No obstante, la CAMR-RS-77 no excluyó el empleo de señales de modulación con diferentes características, siempre que el uso de estas características diferentes no diese lugar a una interferencia mayor que la causada por el sistema considerado en el Plan.

**2. Radiodifusión sonora**

Este punto trata de las técnicas de modulación adecuadas para la radiodifusión sonora cuando ésta constituye el servicio principal transmitido por la portadora o las portadoras consideradas.

**2.1 Modulación analógica**

Entre los métodos de modulación analógica, parece preferible utilizar la modulación de frecuencia (MF) con las mismas normas que para la radiodifusión sonora terrenal (véanse las Recomendaciones 412 y 450), pero dichas normas podrían ser diferentes en ciertos casos. En particular, quizá sea conveniente utilizar una desviación superior para reducir la potencia necesaria del transmisor de satélite, especialmente en las bandas de frecuencias en que se necesitarán nuevos receptores o equipo adicional para los receptores existentes.

En la radiodifusión estereofónica que utiliza un sistema múltiplex con modulación de frecuencia (véase la Recomendación 450), es necesario aumentar en unos 20 dB los valores de intensidad de campo, densidad de flujo de potencia y p.i.r.e. del satélite, o el factor de calidad de la estación terrena receptora. En estereofonia, podrían utilizarse también dos canales idénticos, para transmitir las señales izquierda y derecha, pero pueden surgir algunos problemas de compatibilidad con la recepción monofónica.

**2.2 Métodos digitales de modulación**

Para la radiodifusión de un gran número de canales de sonido puede ser provechoso utilizar las técnicas digitales con multiplexaje por distribución en el tiempo (MDT). En ese caso, la elección del sistema de modulación no depende de la naturaleza de las señales que se transmiten sino sólo de las características del radiocanal. En el § 6 del presente Informe se examina la elección de estas técnicas de modulación digital para cualquier tipo de señal (por ejemplo, sonido, datos, imagen, etc.).

Para la organización del múltiplex digital se han de utilizar diversos procedimientos, que se describen en el Informe 954. En el Informe 953 se dan detalles sobre métodos de codificación digital.

La codificación digital de señales de sonido se describe en el Informe 953 y en el anexo a este Informe se comunican los resultados de las pruebas subjetivas respecto a la relación portadora/ruido ( $C/N$ ) o a la proporción de bits erróneos (BER-«Bit Error Ratio»). Conviene advertir que la calidad del sonido depende del proceso general de transmisión (procedimiento multiplexado, tipo de modulación, entrelazado de bits, estrategia de protección contra errores, características de demodulación, etc.) y de la naturaleza de los errores que surgen en este proceso. Estas circunstancias se deberán tener presentes cuando se comparen los resultados.

### 3. Televisión analógica con un canal sonoro analógico asociado

Este punto se relaciona con la difusión de una señal analógica de televisión con la cual está asociada una subportadora para un canal sonoro analógico.

Para la radiodifusión de televisión por satélite, los dos tipos de modulación que se adaptan mejor parecen ser la modulación de amplitud con banda lateral residual y la modulación de frecuencia.

Para una calidad de servicio y un factor de calidad determinados en las instalaciones de recepción, la modulación de frecuencia permite una potencia mucho menor del transmisor del satélite que la modulación de amplitud. Sin embargo, en las bandas de frecuencias para las que están concebidos los receptores existentes de televisión terrenal, la modulación de amplitud permitiría utilizarlos sin modificación. Desde el punto de vista de la planificación, la modulación de frecuencia requiere canales más anchos, pero las relaciones de protección son menores que para la modulación de amplitud, de modo que puede ser ventajoso uno u otro tipo de modulación, según las circunstancias.

Cuando se emplee la modulación de frecuencia, será conveniente que, tras la demodulación, las señales compuestas de video y de sonido sean las mismas que en el servicio terrenal en la zona geográfica de que se trate; ello simplificaría el diseño de receptores compatibles. Ello supone la utilización de una subportadora para la señal de sonido en una frecuencia igual a la distancia entre las portadoras de video y de sonido utilizada en la radiodifusión terrenal. Sin embargo, una subportadora de gran amplitud puede provocar una estructura visible de batido con la subportadora de color y un perceptible zumbido en el sonido. Experimentos realizados por miembros de la UER han demostrado que la anchura de banda del receptor no precisa ser mayor de lo necesario para conseguir una buena calidad de la imagen exclusivamente, cuando la subportadora de sonido tiene una amplitud que da alrededor del 30% de la desviación total de cresta a cresta de la portadora. Sin embargo, en algunos de dichos experimentos, la relación óptima señal/ruido ponderado conseguida para el sonido fue de 50 dB, como consecuencia del zumbido causado por las variaciones del retardo de grupo de las características del filtro del receptor. Si se desea una mejor calidad del sonido (por ejemplo, con una relación señal/ruido ponderado de 60 dB), puede ser necesario abandonar el sistema de subportadora analógico y transmitir el sonido por otros procedimientos. Uno de ellos podría consistir en utilizar una portadora en radiofrecuencia separada con las mismas características de modulación que las que puedan utilizarse para la radiodifusión sonora por satélite.

En la transmisión de televisión con modulación de frecuencia, las limitaciones de anchura de banda de la señal debidas a los filtros de radiofrecuencia y de frecuencia intermedia provocan una distorsión no lineal que puede degradar de forma significativa la calidad de la imagen. A este respecto, la parte más crítica del sistema es el receptor, que debe poseer filtros baratos y sencillos, los cuales pueden no estar corregidos en fase. En ausencia de subportadoras para las señales de sonido, las distorsiones más críticas para una imagen de color son la fase y ganancia diferenciales de la subportadora de color. Estas distorsiones deben tenerse presentes al determinar la relación entre la desviación de frecuencia y la anchura de banda rectangular equivalente del receptor. Estudios realizados por miembros de la UER han demostrado que es posible obtener valores razonables de las distorsiones, como los mencionados en el cuadro III del Informe 215 con una desviación de frecuencia cresta a cresta de unos 14 MHz/V en la frecuencia de referencia de la característica de preacentuación y una anchura de banda del receptor de 27 MHz. Estudios realizados en Japón [CCIR, 1978-82a] con el sistema M/NTSC a 525 líneas han mostrado que existen combinaciones apropiadas entre las excursiones de la frecuencia portadora debidas a la señal de video y a la subportadora de sonido y la excursión de frecuencia de la subportadora por la señal de sonido. Estos valores permiten obtener las relaciones señal/ruido necesarias, sin producir batido visible ni ruido de truncatura.

### 4. Televisión analógica con varios canales sonoros

En este punto se describen las técnicas de modulación que permiten difundir, en un mismo radiocanal, varios canales sonoros y una señal analógica de televisión.

#### 4.1 *Objetivos*

Es probable que en el futuro se desee disponer, en el canal de radiodifusión por satélite, de una capacidad que permita transmitir, además de la imagen, un cierto número de canales sonoros, y utilizar si es posible esta capacidad de manera flexible para transmitir sonido de alta calidad (incluida la estereofonía), así como comentarios multilingües e incluso datos o sonido sin relación directa con la imagen.



Los sistemas que se utilicen con este propósito en la banda de 12 GHz en las Regiones 1 y 3 deberán satisfacer las condiciones establecidas por la CAMR de radiodifusión por satélite (1977), particularmente en lo que respecta a la anchura de banda ocupada y las interferencias producidas a otros servicios: en la Región 2 se deberá asimismo respetar los acuerdos de la Conferencia de planificación del servicio de radiodifusión por satélite a 12 GHz (CARR SAT-83). Además, es conveniente unificar a largo plazo las normas relativas a la emisión del sonido que acompaña a la imagen en la radiodifusión por satélite y por transmisores terrenales (véase el Programa de Estudios 47A/10).

La calidad del sonido deberá ser al menos tan buena como la obtenida con el sistema de una sola subportadora MF mencionado en el punto 3 anterior. Para un sonido monofónico de alta calidad, pueden considerarse los objetivos siguientes:

- anchura de banda de audio: 15 kHz;
- para los sistemas analógicos, una relación señal/ruido de 50 dB como mínimo y, si es posible, de 60 dB, durante el 99% del tiempo y un valor casi-cresta con la ponderación de la Recomendación 468;
- para los sistemas digitales que utilizan una técnica de compresión para reducir la velocidad binaria, un margen dinámico equivalente, por ejemplo, al de una conversión analógico/digital básica de 14 bits/muestra.

Es conveniente, además, poder sustituir un canal sonoro de alta calidad por dos o tres canales de comentarios que tengan la misma relación señal/ruido pero una anchura de banda inferior.

Otro objetivo importante en la concepción del sistema de radiodifusión para el público es el precio de las instalaciones de recepción, que debe permanecer lo más bajo posible. Lo mismo ocurre con las modificaciones que puede ser necesario efectuar en las redes de distribución por cable.

## 4.2 Multiplexión en frecuencia

### 4.2.1 *Empleo de varias subportadoras analógicas*

El multiplexaje en frecuencia de varias subportadoras moduladas por las señales de sonido da lugar a una estructura particularmente económica de los receptores, no necesitando más que un aumento insignificante o bien ninguno, de la anchura del canal radioeléctrico. Sin embargo, se produce una intermodulación entre la señal de imagen y las de sonido, y entre las diversas señales de sonido, si los niveles de las subportadoras no se fijan en forma apropiada dentro del canal común.

En lo que respecta a las bases técnicas del Plan para la banda de 12 GHz en las Regiones 1 y 3, unos estudios realizados en Francia y en la República Federal de Alemania [CCIR, 1978-82b y c] utilizando las características de video de los sistemas L/SECAM y G/PAL han demostrado que si la separación de frecuencia entre las subportadoras tiene una tolerancia precisa, los productos de intermodulación caen entre las rayas del espectro de la imagen. Las pruebas efectuadas en la República Federal de Alemania han demostrado que la excursión de las subportadoras puede aumentarse hasta  $\pm 100$  kHz. En este último caso, las mediciones efectuadas en Francia han demostrado que la relación señal/ruido de audio es de 50 dB (ponderación CCIR casi cresta) en presencia de la señal de video y de ruido de transmisión. En el anexo I se muestran los resultados de mediciones efectuadas con el satélite OTS para estos sistemas.

Se ha estudiado en Japón un sistema de dos subportadoras de sonido para el sistema M/NTSC de 525 líneas utilizando receptores domésticos, con frecuencias subportadoras de 5 y 5,5 MHz [CCIR, 1978-82d]. Con excursiones de la portadora por la señal de video y por cada señal subportadora de sonido de 17 MHz cresta a cresta y  $\pm 1,3$  MHz, respectivamente, y una excursión de la subportadora por la señal de sonido de  $\pm 75$  kHz, las relaciones señal/ruido conseguidas fueron de 38 dB para la señal de video (no ponderada), 59 dB para la primera subportadora de sonido y 58 dB para la segunda subportadora de sonido (valor eficaz no ponderado), sin que se produjera batido visible ni ruido de truncatura con una relación portadora/ruido de 14 dB.

De adoptarse un sistema de dos portadoras de sonido en la televisión terrenal, sería conveniente que las frecuencias de las subportadoras del sistema de televisión por satélite fuesen iguales a las separaciones entre la portadora de imagen y las portadoras de sonido en la televisión terrenal.

Estudios realizados en Japón han demostrado que se puede utilizar una segunda subportadora modulada en frecuencia por impulsos con multiplexaje en el tiempo, para la transmisión de hasta 6 canales adicionales de sonido, sin aumento de la anchura de banda del receptor [CCIR, 1974-78a].

#### 4.2.2 Empleo de una subportadora digital modulada

En este punto se examina el empleo de una sola subportadora digitalmente modulada. La organización del múltiple digital aplicable a este caso se describe en el Informe 954. Entre las numerosas posibilidades, se tratará principalmente el caso de una subportadora única modulada por un múltiple digital cuya velocidad binaria es de aproximadamente 700 kbit/s, 1400 kbit/s ó 2100 kbit/s (es decir, el equivalente de dos, cuatro o eventualmente seis canales monofónicos de alta calidad). La viabilidad de este tipo de sistema ha sido estudiada teórica y experimentalmente por la BBC [Gilchrist, 1976 y Kalloway, 1976], con una subportadora de 6,5 ó 7 MHz, una velocidad binaria de 700 kbit/s y una modulación por desplazamiento de fase cuadrivalente. En Italia se efectuó un experimento análogo con modulación por desplazamiento de fase cuadrivalente y una subportadora a 7,5 MHz. La velocidad binaria era 2,048 Mbit/s y se utilizó un multiplexaje continuo del tren de bits [CCIR, 1978-82e]. En Francia y Suecia [CCIR, 1978-82f, g] se han efectuado estudios y pruebas de carácter similar con una subportadora a 6,656 MHz, una velocidad binaria de 2 Mbit/s y una modulación por desplazamiento de frecuencia de índice  $\frac{1}{2}$  y fase continua, obtenida por filtrado de la banda lateral residual de una modulación de fase bivalente, llamada «MDM simplificada» [Amoroso y Kivett, 1977; Pommier y Veillard, 1979]. La UER ha emprendido estudios teóricos y experimentos para optimizar los parámetros de modulación y obtener especificaciones completas para este tipo de sistema. Con motivo de las pruebas efectuadas en Francia, se ensayó un procedimiento de multiplexaje por paquetes.

En el servicio fijo por satélite de los Estados Unidos de América se emplea un sistema con una subportadora a 5,5 MHz y una capacidad de 1,79 Mbit/s, es decir, cuatro canales audio de 15 kHz de alta calidad, o dos pares estereofónicos o una transmisión cuadrifónica. Se aplican enfoques esencialmente análogos en los equipos de cifrado de video/audio de los sistemas de satélite que utilizan modulación de frecuencia con una anchura de banda RF de 36 MHz.

Sin embargo, hay que observar que la anchura de banda de base (video más subportadora con modulación por una señal digital) puede ser, en algunos países, mayor que la anchura del canal de televisión previsto en la red de distribución. Esto puede plantear algunas dificultades cuando la señal deba distribuirse en esas redes.

Cualquiera que pueda ser el proceso de modulación adoptado, los filtros de subportadora digital del extremo emisión y del extremo recepción son elementos esenciales del sistema. En el caso de una sola subportadora digital, la función del filtro de extremo emisión es limitar el efecto de la subportadora digital, para evitar cualquier perturbación de la señal de televisión. En el extremo recepción, el filtro del demodulador digital debe limitar la banda de ruido sin introducir interferencia entre símbolos. Para obtener una calidad de funcionamiento óptima, los filtros del extremo emisión y del extremo recepción no pueden diseñarse separadamente. La introducción de un sistema de características óptimas exigirá de estos filtros unas características relativamente precisas, al tiempo que se busca una solución simple y económica para el filtro del demodulador.

La búsqueda de un compromiso entre la eficacia y la simplicidad del demodulador digital ha inducido a sacar la conclusión provisional de que la modulación MDM simplificada es muy adecuada para la radiodifusión con subportadoras digitales. Las características del sistema que se considera óptimo tras los estudios de la UER se indican en el anexo I para un objetivo de servicio correspondiente a una proporción de bits erróneos de  $10^{-3}$  para una relación portadora/ruido de 8 dB, con un margen de 2 dB para la instalación del receptor [CCIR, 1982-86a].

En Japón se adoptó para la radiodifusión de televisión operacional prevista con el satélite BS-2 un sistema digital de transmisión de sonido con modulación MDP-4 diferencial de una subportadora a 5,727272 MHz. Se eligió una velocidad binaria de 2,048 Mbit/s y una excursión de frecuencia de  $\pm 3,25$  MHz de la portadora principal debida a la subportadora. Las especificaciones de este sistema figuran en el Informe 1073. Los resultados experimentales obtenidos se describen en el anexo II al presente Informe [CCIR, 1982-86b].

En el equipo comercial de los Estados Unidos a que se ha hecho referencia anteriormente se modula por desplazamiento de fase cuadrivalente la subportadora con MIC de 14 bits, con compensación instantánea, lo que resulta en 11 bits más signo. Después de añadir bits de paridad a las palabras de 13 bits de longitud, la subportadora se inyecta a un nivel de  $-19$  dB con respecto al nivel de video y produce una proporción de bits erróneos inferior a  $1 \times 10^{-6}$  con una relación  $C/N = 13,5$  dB. La calidad de transmisión es excelente tanto para los canales de microondas terrenales (anchura de banda RF de 20 MHz) como para los canales de satélite (anchura de banda RF de 36 MHz y excursión de cresta de la portadora principal de 12 MHz). En el Informe 488 y en el Informe 215 se proporciona más amplia información a este respecto.

#### 4.2.3 *Empleo de una subportadora digitalmente modulada más una subportadora con modulación MF analógica*

La posibilidad de difundir simultáneamente una subportadora analógica y una subportadora digitalmente modulada permitiría, según la naturaleza del receptor utilizado ofrecer dos posibilidades, a saber:

- posibilidad, conducente a receptores muy económicos, de recepción de un programa de televisión con un canal de sonido monofónico de buena calidad, y
- posibilidad de acceso, además, a varios servicios complementarios, tales como canales de sonido estereofónico o monofónico de alta calidad, comentarios, subtítulos, teletexto y programas radiofónicos adicionales. La velocidad binaria tendría que elegirse de manera que permitiese al menos el equivalente de cuatro canales de sonido de alta calidad.

Para alcanzar estos objetivos, la subportadora de sonido analógica debe permitir obtener buena calidad de sonido, mientras que la velocidad binaria de la subportadora digital debe ser al menos de 1,4 Mbit/s con una proporción de bits erróneos (BER) inferior a  $10^{-4}$  para una relación  $C/N$  superior a 10 dB.

Estudios sobre esta materia realizados en Francia y en el Reino Unido con una anchura de banda de 27 MHz y sistemas de 625 líneas han demostrado que pueden cumplirse todas las condiciones anteriores, siempre que en el diseño del receptor se evite el riesgo de perturbación de la imagen por los productos de intermodulación debidos a la presencia de las dos subportadoras. Debe señalarse, sin embargo, que el ensanchamiento del espectro de la subportadora digital hace estos batidos, cuando se producen, menos visibles que los generados por dos subportadoras analógicas.

En el caso de una subportadora analógica y una subportadora digital aparecen limitaciones suplementarias al nivel de los filtros de la subportadora digital en los extremos de emisión y de recepción. En efecto, el filtro del extremo emisión debe, en este caso, asegurar la protección adecuada de la subportadora analógica, lo que exige una mayor reducción del espectro de la subportadora digital. Análogamente, el filtro del demodulador digital debe ser suficientemente estrecho para asegurar una buena separación entre la subportadora digital y la subportadora analógica. Para una velocidad binaria dada, estas limitaciones hacen más difícil que en el caso de una sola subportadora digital la búsqueda de un compromiso satisfactorio entre las características de los filtros del extremo emisión y del extremo recepción.

### 4.3 Multiplexión por división en el tiempo

Los procedimientos para establecer el múltiplex digital pueden ser similares a los previstos para los sistemas de portadora o subportadora modulada digitalmente (véase el Informe 954).

#### 4.3.1 *Inserción en banda de base de señales audio digitales en el intervalo de borrado de línea, utilizando una codificación de respuesta total*

La inserción de señales digitales de sonido en el intervalo de supresión de línea es una técnica atractiva que permite la transmisión de señales de elevada calidad sin aumentar la anchura de la banda de base del radiocanal.

La utilización de esta técnica en la televisión terrenal es objeto del Informe 958. En el Informe 488 y en [CCIR, 1970-74a] se describen también algunos sistemas. El Informe 958 afirma en particular, en el caso de los sistemas de televisión B/PAL y M/NTSC (Japón), que es poco probable que un sistema que emplee señales digitales en el intervalo de supresión de línea sea compatible con los receptores existentes, aunque se utilice solamente la mitad de la capacidad total del intervalo de supresión de línea. En el caso de otros sistemas de televisión se necesitan nuevos estudios. Teniendo en cuenta este problema de compatibilidad, el Informe 958 concluye afirmando que será necesario introducir nuevos tipos de receptores de televisión terrenal si se desea utilizar el intervalo de supresión de línea para transmitir hasta 4 canales de sonido de elevada calidad.

Esta técnica es más adecuada para la radiodifusión por satélite cuando la compatibilidad con los receptores existentes no es tan crítica como en el caso de la televisión terrenal, pues el procesado de la señal, incluida la regeneración de los impulsos de sincronización, puede realizarse en el convertidor que en todo caso debe añadirse a los receptores de televisión. Además, el fenómeno de la propagación por trayectos múltiples, que puede degradar la calidad de recepción cuando se utiliza este sistema en la televisión terrenal, no se da en el caso de la radiodifusión por satélite.

La inserción en banda de base de una señal múltiplex digital audio y de datos durante el intervalo de supresión de línea se ha desarrollado plenamente en el sistema B-MAC descrito en el Informe 1073. La velocidad binaria instantánea en el B-MAC de 525 líneas es de 14,3 Mbit/s cuando se utiliza una técnica de codificación de 4 estados o de 7,15 Mbit/s cuando se utiliza una técnica de codificación de 2 estados. Esta modulación MDF a 4 estados y a 2 estados permite la detección de la señal mediante un simple demodulador MF. La capacidad de transmisión de datos correspondiente es de 1,57 Mbit/s o de 0,785 Mbit/s, lo que proporciona hasta 3 ó 6 canales audio de alta calidad respectivamente y un canal de datos de servicio de 9600 bit/s ó 4800 bit/s protegido por una lógica mayoritaria 5 : 1. Este múltiplex de sonido y datos no requiere más anchura de banda que la señal MAC video que lo acompaña. Australia ha adoptado el sistema B-MAC de 625 líneas que proporciona la capacidad de 1,594 Mbit/s ó 0,797 Mbit/s con la codificación de 4 estados o de 2 estados respectivamente. Así se obtienen hasta 6 ó 3 canales audio de alta calidad respectivamente.

En ambas versiones del formato B-MAC, se utiliza modulación delta adaptable (MDA) con una velocidad de muestreo de 204 kHz (13 veces la frecuencia de línea) para codificación de sonido de alta calidad con objeto de encajar el número necesario de canales. El Informe 953 contiene una descripción detallada de esta codificación por modulación delta adaptable y \_\_\_\_\_ presenta los resultados de mediciones subjetivas efectuadas en Australia, Canadá y Estados Unidos de América \_\_\_\_\_ sobre la modulación delta adaptable, resultados que revelan que, con una ocultación adecuada de los errores según se describe en el Informe 1073, la interrupción del servicio ( $Q = 1,5$ ) ~~aparece~~ para una proporción de bits erróneos de  $1,5 \times 10^{-2}$ . Los resultados demuestran también que en un canal de transmisión no degradado, la MDA dará una cantidad semejante a la del sistema de ~~compresión-expansión~~ semiinstantánea 14/10 descrito en el Informe 953, salvo en el caso de un material de programa crítico. Se ha descubierto también que un aumento de la velocidad de muestreo para la MDA aproximará esa calidad a la calidad de funcionamiento de un sistema de compansión semiinstantánea con todo tipo de material de programa.

Este multiplexado en el tiempo en banda de base evita la intermodulación con la señal de video y la degradación de la calidad umbral causada por las habituales subportadoras de sonido. También permite una excursión mayor de la portadora dentro del canal RF y la utilización de un demodulador MF video sencillo para recuperar los canales de imagen, sonido y datos.

La UER ha realizado pruebas sobre un sistema de este tipo en asociación con una señal de televisión PAL, utilizando una velocidad binaria instantánea igual al doble de la frecuencia de la subportadora de color y con sincronización digital insertada en el intervalo de supresión de trama. La capacidad disponible pasa a ser entonces de 1,625 Mbit/s, lo que equivale a 4 canales de sonido de alta calidad. Este sistema satisface por sí solo el criterio de continuidad de servicio que requiere una proporción de bits erróneos de  $10^{-3}$  para una relación portadora/ruido de 8 dB. Sin embargo, este criterio no se satisface si se añade un sistema de subportadora digital del tipo descrito en el anexo I con la esperanza de aumentar la capacidad hasta un valor próximo a 3,5 Mbit/s.

#### 4.3.2 *Inserción en banda de base de señales de sonido digitales en el intervalo de supresión de línea utilizando una codificación de respuesta parcial (por ejemplo, duobinaria)*

Se han estudiado en Europa dos sistemas que asocian la codificación MAC para la imagen con un "múltiplex por división en el tiempo" (MDT) en banda de base de las señales digitales. Estos sistemas conocidos con los términos de "D-MAC/paquetes" y "D2-MAC/paquetes", emplean multiplexión en banda de base (tipo B) con codificación duobinaria. Para el sistema D-MAC/paquetes se obtiene un flujo binario global de 3,28 Mbit/s a partir de ráfagas de  $10 \mu\text{s}$  y un flujo instantáneo de 20,25 Mbit/s. Para el sistema D2-MAC/paquetes se obtiene un flujo binario global de 1,64 Mbit/s a partir de ráfagas de  $10 \mu\text{s}$  y un flujo instantáneo de 10,125 Mbit/s. Para ambos sistemas las \_\_\_\_\_ demás características de codificación y de multiplexado son comunes con los sistemas de la familia MAC/paquetes.

### Los sistemas D-MAC/paquetes y

D2-MAC/paquetes presentan la propiedad original de poder adaptarse a las características físicas de los soportes de transmisión. Este tipo de flexibilidad resulta del concepto de multiplex temporal en banda de base, asociado al empleo de un código duobinario para la transmisión de la señal digital. El sistema D-MAC/paquetes es una de las mejores soluciones de compromiso que utiliza de forma óptima el canal de radiodifusión por satélite al tiempo que es compatible con los canales utilizados en las redes de cable de 12 MHz de anchura de banda como mínimo. El sistema D2-MAC/paquetes es una de las mejores soluciones de compromiso entre el empleo óptimo de una vía de radiodifusión por satélite y la compatibilidad directa con los canales de 7 u 8 MHz utilizados en las redes de cable.

Para el sistema D2-MAC/paquetes en radiodifusión por satélite, la señal de banda de base se transmite con una anchura de banda igual a 8,4 MHz por lo menos. En estas condiciones, una señal de imagen conforme al Informe 601 no experimenta reducción de la anchura de banda y la señal digital puede satisfacer el criterio de continuidad de servicio, correspondiente a una proporción de bits erróneos de  $10^{-3}$  para una relación  $C/N$  de 8 dB.

Para el sistema D-MAC/paquetes en la radiodifusión por satélite, la señal de banda de base se transmite con una anchura de banda nominal de 10 MHz. En estas condiciones, una señal de imagen conforme al Informe 601 no experimenta reducción de la anchura de banda y la señal digital satisface el criterio de continuidad de servicio correspondiente a una proporción de bits erróneos de  $10^{-3}$  para una relación  $C/N$  de 8 dB cuando en el receptor se utilizan las técnicas de filtrado paso banda y de reducción de errores apropiadas.

Ambos sistemas tienen además las siguientes ventajas principales:

- posibilidad de aumento de la banda video en el caso de un demodulador de filtro adaptable, para valores de la relación  $C/N$  superiores al umbral de demodulación de frecuencia (11 dB aproximadamente);
- ausencia de intermodulación entre componentes de la señal de banda de base;
- demodulación del conjunto de la señal por el mismo demodulador;
- posibilidad de reducir la proporción de bits erróneos y el ruido impulsivo de la imagen optimizando la anchura de banda de los filtros;
- posibilidad de procesar digitalmente la señal codificada en duobinario para reducir el efecto de los bits erróneos;
- organización flexible, y por lo tanto evolutiva, del conjunto del multiplex;

Otras ventajas del sistema D-MAC/paquetes son:

- compatibilidad directa con todos los canales de transmisión cuya banda de base sea igual o superior a 9 MHz;
- velocidad práctica de transmisión de datos máxima de 20,25 Mbit/s;
- difusión continua de datos, con una velocidad de 20,25 Mbit/s por multiplex elemental de D-MAC/paquetes.

Otras ventajas del sistema D2-MAC/paquetes son las siguientes:

- compatibilidad directa con todos los canales de transmisión cuya banda de base sea igual o superior a 4,5 MHz;
- difusión continua de datos, con una velocidad de 10,125 Mbit/s por multiplex elemental de D2-MAC/paquetes;
- utilizando un demodulador con filtro adaptable, puede alcanzarse una proporción de bits erróneos de  $10^{-3}$  para una relación portadora/ruido de 6,5 dB.

Teniendo en cuenta esas ventajas se ha establecido la especificación completa del sistema los sistemas D-MAC/paquetes y D2-MAC/paquetes para la difusión por satélite en 12 GHz con normas de 625 líneas (véase el Informe 1073). El Informe 634 da los resultados de las mediciones de la sensibilidad a la interferencia [CCIR, 1982-86c y CCIR, 1986-90a].

La industria del Reino Unido y los laboratorios de radiodifusión han efectuado en común experiencias sobre el sistema D2-MAC/paquetes. Esas experiencias se han revisado utilizando todos los soportes, es decir, enlaces por satélite, por cable y terrenales con relevadores radioeléctricos, y han confirmado la utilización práctica y la viabilidad económica de la realización del receptor. En el anexo IV del presente Informe se resumen los resultados relativos a la radiodifusión por satélite.

La industria europea y los laboratorios del CCETT han efectuado en común numerosas experiencias sobre el sistema D2-MAC/paquete. Esas experiencias se han realizado en numerosos soportes: satélite, cable y redes de radioenlaces terrenales. Los resultados relativos a la radiodifusión por satélite se resumen en el anexo III al presente Informe.

#### 4.3.3 *Multiplaje por distribución en el tiempo, en radiofrecuencia, utilizando el intervalo de supresión de línea*

La modulación de la portadora es analógica (modulación de frecuencia) durante la parte activa de las líneas y digital durante el intervalo de supresión de línea. Este tipo de sistema ofrece capacidad próxima a 3 Mbit/s (equivalente a 8 canales de sonido de alta calidad) y es naturalmente compatible con la codificación de las componentes de imagen con multiplaje por distribución en el tiempo y compresión temporal (MAC) [Lucas y Windram, 1981]. Se necesitan equipos suplementarios en el receptor si se requiere la transcodificación a los receptores existentes, pero considerado en su conjunto el receptor no es más complejo que los necesarios para otros sistemas que utilizan la modulación digital del sonido. No es posible utilizar este sistema en la televisión terrenal pero se puede efectuar una simple transcodificación a un sistema del tipo B (véase el § 4.3.1) de inferior capacidad, pero donde se reutiliza la mayor parte de los circuitos de un receptor tipo C.

Las principales propiedades del sistema de multiplaje por distribución en el tiempo en radiofrecuencia son las siguientes:

- gran capacidad de señales digitales de sonido y datos y buena calidad de funcionamiento desde el punto de vista de la proporción de errores; en particular es posible satisfacer el criterio de continuidad del servicio correspondiente a una proporción de bits erróneos de  $10^{-3}$  para una relación portadora/ruido de 8 dB;
- posibilidad de aumentar la anchura de banda de video;
- filtrado de video simple;
- ausencia de degradación del umbral de demodulación de frecuencia;
- ausencia de problemas de intermodulación;
- demodulación en una sola etapa de la señal digital;
- en principio, fácil conversión a efectos de la distribución por cable\*; y
- posibilidad de compatibilidad completa con la transmisión continua de datos.

A la vista de estas ventajas, el sistema C ha sido plenamente especificado en asociación con una imagen MAC y un sistema de multiplexado por paquetes para la radiodifusión por satélite en 12 GHz con la norma de 625 líneas (véase el Informe 1073). Las mediciones de sensibilidad a la interferencia se dan en el Informe 634.

La UER ha efectuado numerosas pruebas con un sistema del tipo C asociado a una señal de imagen de televisión MAC (véase el anexo V).

Para este sistema, se concede preferencia a la modulación MDP-2-4 [Duponteil, 1981] en la cual el desplazamiento de fase es instantáneo e igual a  $90^\circ$  para cada bit (antes del filtrado), pues ofrece las ventajas siguientes:

- conformación idónea del espectro y bajo ensanchamiento del espectro tras el paso por un dispositivo no lineal como, por ejemplo, un repetidor de satélite;

\* Conviene señalar, sin embargo, que si se necesita plena capacidad, la anchura de banda puede ser en ciertos países mayor que la anchura del canal proporcionado por la disposición de canales en la red de cables. Ello puede crear ciertas dificultades cuando la señal ha de ser distribuida por esas redes.



- equipo de recepción sencillo con buena calidad de demodulación diferencial\* : y
- posibilidad de utilizar el mismo demodulador MF para imagen y sonido en zonas en las que las señales son de gran intensidad.

## 5. Portadora de radiofrecuencia modulada digitalmente

Este punto versa sobre un sistema de modulación en el que la portadora de radiofrecuencia es directamente modulada por un tren de bits y concierne a la radiodifusión de todo tipo de señales: sonido, imagen, datos, etc.

La codificación digital de las señales de televisión y las técnicas de compresión para reducir la redundancia de la información son temas objeto de muchos estudios actualmente (véase el Informe 629). Como alternativa de la modulación de frecuencia, se emplea la difusión de las señales utilizando la modulación directa de la portadora por la señal video digitalizada.

La modulación digital puede ser más ventajosa que la modulación analógica, lo que incluye la posibilidad de utilizar en el satélite una menor potencia de transmisión y una menor anchura de banda del canal si es posible obtener una velocidad binaria suficientemente baja.

Si bien en la actualidad sería demasiado oneroso aplicar esta solución para la recepción individual, su costo podría no ser prohibitivo en el caso de la recepción comunal [CCIR, 1974-78b]. Cabe prever, no obstante, que, una vez normalizados, los dispositivos de decodificación experimentarán las mismas reducciones espectaculares de precio que han experimentado otros materiales digitales, como las computadoras y calculadoras electrónicas.

### 5.1 Técnicas de modulación

El tipo de modulación debe elegirse en función de criterios tales como la congestión del espectro y la inmunidad al ruido y a las interferencias. Además, en el caso de la recepción individual, en la elección deberá tenerse en cuenta la sencillez y el costo del demodulador. Entre las técnicas de modulación que parecen adaptarse convenientemente cabe citar la de desplazamiento de fase bivalente o cuadrivalente, la modulación por desplazamiento de frecuencia de índice 1/2 y fase continua y los métodos de modulación por desplazamiento de frecuencia que utilizan los principios de la codificación de respuesta parcial. Estas últimas técnicas ofrecen la ventaja de un espectro de potencia reducido asociado a una onda de envolvente constante [CCIR, 1978-82h, i]. Entre los procesos de modulación de este tipo se hallan especialmente los procesos de MDF duobinaria de índice 1/2 y MF moderada [De Jager y Dekker, 1978] y que pueden considerarse derivados de la modulación MDM, en donde las transiciones de fase se hacen interdependientes por la naturaleza del código empleado. Estos procesos también tienen muchas características comunes con la manipulación por desplazamiento de fase de cuatro estados con procesos de modulación de trenes descentrados, tales como la MDP-4 descentrada [Groenemeyer y McBride, 1976]. En realidad la MDF duobinaria de índice 1/2 y la MDP-4 descentrada son ambas procesos de desplazamiento de cuatro estados de fase y de trenes descentrados. El llamado proceso de MF moderada, por su parte, puede considerarse una modulación MDF duobinaria de índice 1/2 en la que existe un nivel superior de correlación entre las transiciones de fase de la señal emitida. Todas estas similitudes son importantes, pues indican que, al nivel de demodulación, existe considerable compatibilidad entre esas formas de modulación. Esto es particularmente interesante en el caso de la radiodifusión, en la que es muy conocido el efecto de la existencia de gran número de terminales, cuando se definen nuevos sistemas que exigen diferentes limitaciones radioeléctricas.

### 5.2 Interfaz

Un estudio constructivo que utiliza técnica digital [CCIR 1978-82j; Pommier y Siohan, 1981] da algunos resultados basados en modulaciones MDP-4 y MDM, cuando la modulación digital se realiza sobre una portadora del plan de frecuencias de la banda de 12 GHz (Regiones 1 y 3). Uno de los puntos estudiados trata de la protección de los canales adyacentes, protección que debe ser efectiva incluso en presencia de fenómenos de ensanchamiento del espectro debidos a la no linealidad del tubo de potencia del satélite cuando es utilizado cerca de la saturación. En efecto, para la MDM y la MDP-4, la causa principal de la limitación de la velocidad binaria utilizable parece ser la interferencia en el canal adyacente.

Deben considerarse por separado dos fenómenos muy diferentes, que afectan al canal analógico MF interferido:

- el primero es la disminución de la calidad de la señal recibida por encima del umbral de demodulación;
- el segundo es el desplazamiento aparente del umbral de modulación, con una potencia de ruido térmico  $N$  dada, hacia valores más elevados de la relación portadora/ruido ( $C/N$ ).

\* La degradación teórica de la demodulación diferencial comparada con la demodulación coherente corresponde a un aumento de la relación portadora/ruido de 1,1 dB para una proporción de bits erróneos dada de  $10^{-3}$ .

Este estudio ha demostrado que la interferencia en los canales adyacentes puede entrañar una degradación que se manifiesta principalmente por un desplazamiento del umbral hacia valores más elevados de la relación portadora/ruido térmico. La limitación de la velocidad debida a este fenómeno depende del valor tolerado en el aumento del umbral. Para un aumento del umbral inferior a 0,15 dB aproximadamente, las velocidades utilizables con MDP-4 y con MDM son, respectivamente, 26 Mbit/s y 20 Mbit/s. Si se admite un aumento más importante del umbral, del orden de 0,3 dB por ejemplo, se puede utilizar una velocidad de 34 y 27 Mbit/s con las modulaciones MDP-4 y MDM, respectivamente. Estos valores se obtuvieron con un filtro de recepción de 27 MHz de anchura de banda y un demodulador convencional de frecuencia para la demodulación de las portadoras MF que sufrían interferencia. En otras condiciones, por ejemplo, con el empleo de demoduladores de umbral ampliado, se obtendrán sin duda resultados muy distintos.

Para MDM y MDP-4, con demoduladores coherentes y un margen tecnológico de 2 dB, puede obtenerse una proporción de bits erróneos de  $10^{-4}$  para una densidad de flujo de potencia en la superficie de la Tierra de  $-107$  dB(W/m<sup>2</sup>) con una velocidad binaria cerca de 21 Mbit/s, cuando las estaciones de recepción tienen un factor de calidad  $G/T$  de 6 dB(K<sup>-1</sup>).

Un estudio reciente [Newland, 1988] ha establecido que, cuando interfieren mutuamente señales moduladas digitalmente, el grado de interferencia mutua que puede tolerarse es sustancialmente mayor que en el caso de señales analógicas que transportan imágenes o sonido de calidad de radiodifusión. La relación admisible portadora/interferencia (C/I) depende del método de modulación y de la codificación con corrección de errores (si la hay). También puede haber un compromiso entre C/N y C/I en el balance global del enlace. Información adicional figura en el Informe 634.

### 5.3 Modulación avanzada y métodos de codificación

Las tendencias modernas en la comunicación digital por satélite utilizan corrección de errores directa (FEC) mediante la concatenación de códigos de bloques y códigos convolucionales o mediante la modulación en enrejado. En el receptor se utiliza la decodificación por decisión programada. Pueden obtenerse altas ganancias de codificación, lo que permite reducir la potencia del satélite y la puesta fuera de servicio. La realización física de estas técnicas a altas velocidades binarias (por ejemplo, 140 Mbit/s) ha proporcionado recientemente soluciones adecuadas para aplicaciones profesionales. Una comparación de la calidad de funcionamiento de algunos sistemas digitales para la transmisión por satélite figura en el Cuadro I . Los valores de  $E_b/N_0$  se obtuvieron mediante simulaciones por computador y pruebas de laboratorio así como de textos actuales [Cominetti y Morello, 1989] [Seo y Feher, 1988]. Los esquemas de codificación convolucional y de enrejado ofrecen altas ganancias de codificación. Sin embargo, para superar el efecto de las ráfagas de errores en la salida del decodificador Viterbi, puede utilizarse código BCH entrelazado o código Reed Solomon.



## CUADRO I

Calidad de algunos sistemas de modulación y de codificación por satélite

sistema	Modulación	FEC 1	FEC 2	Eb/No para una BER = 10 <sup>-8</sup>	EFICACIA ESPECTRAL RELATIVA (%)
1	MDP-4	-	-	15.7	100
2	MDP-4	BCH(255,239,2)	-	11.2	94
3	MDP-4	CONVOL. 3/4	BCH(255,239,2)	7.4	70
4	MDP-4	CONVOL. 1/2	BCH(255,239,2)	6.2	47
5	MDP-8	BCH(255,239,2)	-	16.4	141
6	MDP-8	RETICULAR 2/3	BCH(255,239,2)	8.2	94
7	MAQE-16	BCH(255,239,2)	-	16.0	187
8	MAQE-16	TRELLIS 3/4	BCH(255,239,2)	12.1	141

6. Otras consideraciones

## 6.1 Fórmulas que rigen el comportamiento de la modulación para señales analógicas de TV y audio

6.1.1 *Modulación de video únicamente*

En el caso de un sistema con modulación de frecuencia:

$$S/N = C/N + F_{dB} + k_w$$

donde:

$S/N$ : relación «amplitud cresta a cresta de luminancia/valor cuadrático medio del ruido ponderado» (dB),

$C/N$ : relación portadora/ruido antes de la detección en la anchura de banda de radiofrecuencia (dB),

$F$ :  $3 (D_{cc}/f_v)^2 \cdot (b/2f_v)$  (relación de potencias que es igual a  $F_{dB}$  cuando se expresa en dB),

$D_{cc}$ : excursión cresta a cresta producida por la señal de video (incluyendo los impulsos de sincronismo),

$f_v$ : frecuencia de video más elevada (4,2 MHz para el sistema M),

$b$ : anchura de banda de radiofrecuencia (generalmente  $D_{cc} + 2f_v$ ),

$k_w$ : factor de mejora combinada de la desacentuación y de la ponderación, en los sistemas de modulación de frecuencia (dB) (véase el cuadro II).

6.1.2 *Modulación de audio únicamente (subportadoras MF de audio de bajo nivel)*

La relación señal/ruido no ponderado de los canales de audio asociados, que consisten en subportadoras MF situadas por encima de la banda de base de video, se determinan por la ecuación siguiente:

$$S/N_a = 10 \log \left[ \frac{3}{4} \left( \frac{b}{f_a} \right) \left( \frac{D_i}{f_i} \right)^2 \left( \frac{D_a}{f_a} \right)^2 \right] + \left( \frac{C}{N} \right) + k_a$$



La sustitución de la ecuación (1) y la aproximación (2) en la ecuación del §6.1.1, y la combinación de las constantes, da por resultado la siguiente ecuación para la relación señal de video/ruido ponderado:

$$\frac{S}{N_v} = 10 \log \left[ \left( \frac{D_{c-c}}{f_v} \right)^2 \left( \frac{D_{c-c} + 2f_b}{f_v} \right) \right] + \frac{C}{N} + k_r + 1,8$$

donde:

$k_r$ : combinación de la ponderación de ruido y la ventaja de la preacentuación (por ejemplo, 12,8 dB para el sistema M/Canadá, Estados Unidos de América).

Esta ecuación puede utilizarse para estimar la repercusión de múltiples subportadoras MF de audio en la relación señal/ruido de la señal video en sistemas de transmisión MF que funcionan por encima del umbral.

CUADRO II — Factores de reducción de la red de ponderación del ruido en videofrecuencia, para la televisión en blanco y negro

Sistema	Ponderación (dB)		( $k_w$ ) Ponderación incluida la desacentuación (dB)
	Ruido blanco	Ruido triangular	Ruido triangular
B, C, E, F, G, H y M (Japón)	8,5	16,3	16,3
D, K, L	9,3	17,8	18,1
I	6,5	12,3	12,9
M (Canadá, Estados Unidos de América) <sup>(1)</sup>	6,8	10,2	13,8

(1) Los factores de ponderación para el sistema M de 525 líneas (Canadá, Estados Unidos de América) están basados en la Recomendación 567 (valores según el Informe 637).

Nota — Al utilizar la preacentuación de conformidad con la Recomendación 405, el efecto combinado de ponderación y desacentuación para el ruido triangular es aproximadamente el mismo que el de ponderación solamente. En el Informe 637 se dan más detalles.

## 6.2 Señales componentes de televisión en forma analógica

Se prevé que los futuros receptores de televisión tengan una toma para las señales de componentes separadas (*Y, U, V* o *R, G, B*) y quizá sea posible aprovechar esta característica para transmitir la señal en forma de sus componentes. Esto podría tener ventajas importantes para el futuro desarrollo de los sistemas.

Las señales de televisión de componentes analógicas son objeto del Informe 1073.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMOROSO, F. y KIVETT, J. A. [abril de 1977] Simplified MSK signaling technique. *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-25, 4, 433-447.
- COMINETTI, M. y MORELLO, A [1989] Digital transmission of television signals by satellite. Technical Symposium, ITU-COM 89, Ginebra, octubre de 1989.
- DE JAGER, F. y DEKKER, C. B. [mayo de 1978] Tamed frequency modulation, a novel method to achieve spectrum economy in digital transmission. *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-26, 5, 534-542.
- DUPONTEIL, D. [marzo de 1981] Binary modulations for digital satellite communications link with differential demodulation. Fifth International Conference on Digital Satellite Communications, Génova, Italia.
- GILCHRIST, N. H. C. [1976] Satellite broadcasting: feasibility of adding a PSK subcarrier sound signal to a FM television signal. BBC Research Report No. 1976/8.
- GRONEMEYER, S. A. y McBRIDE, A. L. [agosto de 1976] MSK and offset QPSK modulation. *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-24, 8, 809-820.

- KALLOWAY, M. J. [1976] An experimental 4-phase differential PSK system carrying two high-quality digital sound signals. BBC Research Report No. 1976/20.
- LUCAS, K. y WINDRAM, M. D. [1981] Direct television broadcasts by satellite – derivability of a new transmission standard. IBA Report 116/81.
- NEWLAND J.D. [1988] Investigation of mutual interference between digitally modulated signals. BBC Research Development Report, No. BBC RD 1988/13.
- POMMIER, D. y SIOHAN, P. [diciembre de 1981] Comparison of the use of QPSK and MSK in digital satellite broadcasting on an R.F. carrier. *EBU Rev. Tech.*, 190, 264-272.
- POMMIER, D. y VEILLARD, J. [agosto de 1979] Étude théorique et expérimentale d'une modulation simplifiée par déplacement de fréquence d'indice 1/2 à phase continue. *Ann. des Télécomm.*, Vol. 34, 7-8, 423-437.
- SEO, T y FEHER K. [1988] Performance of 16 state SQAM in a nonlinearly amplified multichannel interference environment. *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 36, No. 11, noviembre de 1988.

*Documentos del CCIR*

- [1970-74]: a. 11/302 (Alemania (República Federal de)).
- [1974-78]: a. 11/41 (Japón); b. 11/90 (Estados Unidos de América).
- [1978-82]: a. 11/81 (Japón); b. 10-11S/17 (Francia); c. 10-11S/7 (UER); d. 10-11S/112 + Corr.1 (Japón); e. 10-11S/161 (Italia); f. 10-11S/124 (UER); g. 10-11S/126 (Suecia); h. 10-11S/18 (Francia); i. 10-11S/30 (Estados Unidos de América); j. 10-11S/137 (Francia).
- [1982-86]: a. 10-11S/42 (UER); b. 10-11S/6 (Japón); c. 10-11S/165 + Corr. 1 (UER).
- [1986-90]: a. 10-11S/14 (Reino Unido).

## ANEXO I

### ESTUDIOS Y PRUEBAS EFECTUADOS EN EUROPA SOBRE LA RADIODIFUSIÓN DE VARIOS CANALES DE SONIDO CON UNA SEÑAL ANALÓGICA DE TELEVISIÓN DE 625 LÍNEAS UTILIZANDO UNA O DOS SUBPORTADORAS

#### 1. Televisión con dos subportadoras analógicas

Ensayos efectuados en Francia y en la República Federal de Alemania utilizando las características de video de los sistemas de televisión L/SECAM y G/PAL (625 líneas), en las condiciones siguientes:

- frecuencias de las subportadoras: 5,5 MHz y 5,75 MHz,
- desviación de frecuencia de la subportadora:  $\pm 63$  kHz,
- desviación de la portadora causada por la señal de imagen: 14 MHz/V,
- desviación de la portadora por cada una de las subportadoras:  $\pm 2,8$  MHz.

CUADRO III-Resultados tipo de las mediciones

C/N (dB)	Relación S/N ponderado Canal de imagen (dB)	Relación S/N ponderado (señal casi cresta) 1.º canal de sonido (5,5 MHz) (dB)	Relación S/N ponderado (señal casi cresta) 2.º canal de sonido (5,75 MHz) (dB)
14	44	45,8	47,8

Unas mediciones similares han mostrado que para una desviación cresta a cresta de  $\pm 100$  kHz de cada una de las subportadoras, la relación  $S/N$  (casi cresta ponderado) puede llegar a ser de 50 dB en cada uno de los canales de sonido, para una relación  $C/N$  de 14 dB.

Los ensayos efectuados en Francia llevan a la conclusión de que la difusión por satélite de una señal video acompañada de dos señales audio analógicas de alta calidad en un canal de 27 MHz es posible si los filtros FI de los receptores se amoldan a un determinado gálibo del tiempo de propagación de grupo con una tolerancia cresta a cresta de la onda de 16 ns. En estas condiciones la imagen es ligeramente perturbada por la presencia de dos subportadoras de sonido, y la relación señal/ruido de audio casi cresta, con ponderación del CCIR, puede llegar a ser de 50 dB.

## 2. Televisión con una subportadora modulada digitalmente (sistema de tipo A)

Los estudios de la UER sobre este tipo de sistema han conducido a considerar óptimas las características siguientes en el caso de sistemas de televisión de 625 líneas.

### 2.1 Hipótesis básicas

#### 2.1.1 Características de modulación aplicables a sistemas de televisión de 625 líneas en canales de satélite de 27 MHz

- anchura de banda de video transmitida      6 MHz \*
- desviación de la portadora producida por  
1 V de la señal de video \*\*      13,5 MHz
- preacentuación para PAL y SECAM      según la Recomendación 405
- dispersión de energía      600 kHz (en relación con la frecuencia de trama)

#### 2.1.2 Proporción de bits erróneos correspondiente al límite de continuidad de los servicios de sonido: $10^{-3}$ .

#### 2.1.3 Relación $C/N$ correspondiente al límite de continuidad de los servicios de sonido: 8 dB (27 MHz).

#### 2.1.4 Velocidad binaria: Múltiplo de la frecuencia de muestreo de 32 kHz (de acuerdo con la Recomendación propuesta por la UER y contenida en el Informe 953).

### 2.2 Características de la subportadora modulada digitalmente

#### 2.2.1 Tipo de modulación: Banda lateral residual, modulación por desplazamiento de fase de 2 estados (BLR-MDP-2) con transmisión de la banda lateral superior y demodulación coherente.

#### 2.2.2 Velocidad binaria: 2,048 Mbit/s \*\*\*

La estabilidad de la señal binaria de radiodifusión debe asegurar:

- una estabilidad de frecuencia de reloj a largo plazo de  $10^{-6}$ ;
- una fluctuación de reloj máxima de 5 ns (media cuadrática).

#### 2.2.3 Frecuencia de la subportadora \*\*\*\*

La frecuencia de la portadora original ( $f_1$ ) de la modulación MDP-2 es de 6,5 MHz (6,5 MHz = 416 veces la frecuencia de línea de televisión).

La estabilidad a largo plazo de esta frecuencia portadora  $f_1$  ha de ser como mínimo de  $10^{-6}$ .

La frecuencia central del espectro transmitido de la señal subportadora  $f_0$  es de 7,012 MHz, en efecto:

$$7,012 \text{ MHz} = 6,5 \text{ MHz} + \frac{2,048}{4} \text{ MHz}$$

\* Este valor permite el uso de una versión del sistema de codificación de las componentes de imagen utilizando la compresión temporal y el multiplaje por distribución en el tiempo.

\*\* La desviación citada corresponde a una señal sinusoidal de 1 V cresta a cresta a una frecuencia de 1,52 MHz.

\*\*\* Este valor corresponde a 5 ó 6 canales de sonido de elevada calidad, en función del tipo de multiplaje utilizado para los mismos.

\*\*\*\* La descripción de la subportadora modulada requiere la definición de dos parámetros: la frecuencia de la portadora original  $f_1$  de la modulación MDP-2 y la frecuencia central  $f_0$  del espectro obtenido tras el filtrado de la banda lateral residual.

2.2.4 *Desviación de la portadora principal por la subportadora modulada digitalmente: 2,5 MHz (media cuadrática)*

2.2.5 *Codificación entre la señal binaria y la subportadora modulada digitalmente*

Se utiliza un código absoluto entre la señal binaria y la modulación de fase bivalente (este código requiere la utilización de un dispositivo de resolución de la ambigüedad en el demodulador).

### 2.3 *Resultados experimentales*

Se resumen a continuación los resultados de las numerosas pruebas realizadas con el sistema de tipo A descrito más arriba, utilizado en conjunción con una señal de imagen SECAM y un multiplex de paquetes de cinco canales de sonido de alta calidad (codificados con compresión-expansión casi instantánea y protección contra errores utilizando un bit de paridad para los cinco bits más significativos de cada muestra).

2.3.1 *Proporción de bits erróneos (BER): véase a continuación la fig. 2.*

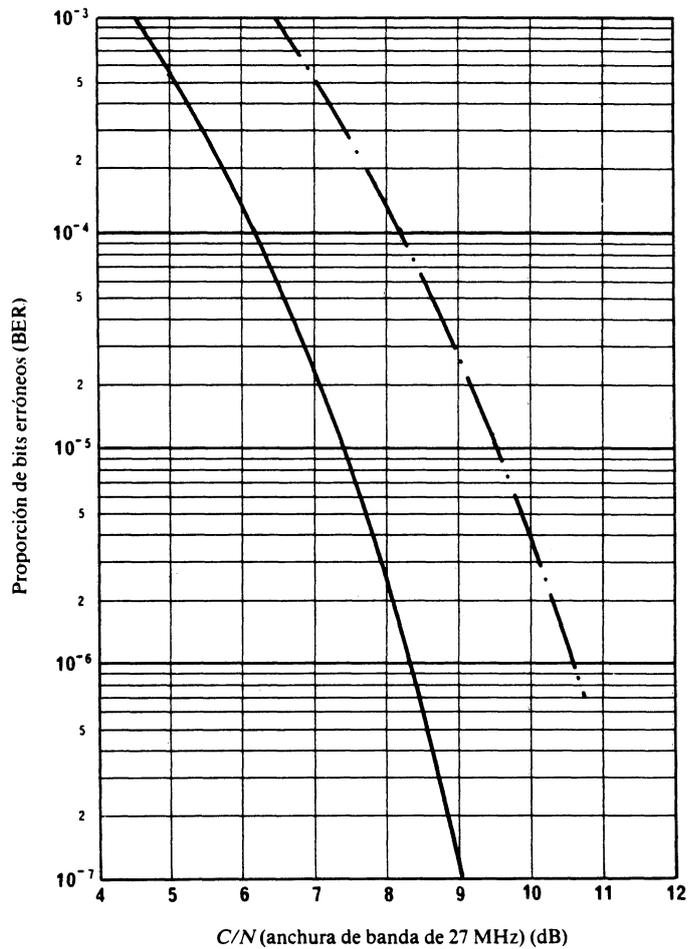


FIGURA 2 - Valores típicos de la proporción de bits erróneos (BER) con una señal de imagen de barras de color (75%)

- Característica teórica (ruido blanco gaussiano)
- · · Característica medida típica (según experimentos de laboratorio y experimentos con el satélite OTS)

### 2.3.2 Calidad del sonido y de la imagen

Se hicieron pruebas subjetivas con un grupo de 37 observadores; para la imagen se utilizó el método del estímulo único y en cuanto al sonido se siguieron las disposiciones de la Recomendación 562. El aparato de medición del laboratorio incluía un simulador de satélite con un elemento no lineal. Las imágenes se obtuvieron de diapositivas de prueba de la UER. El sonido se evaluó independientemente de la imagen, utilizando dos extractos musicales que se consideraban sensibles a fallos y errores en sistemas digitales (un solo de trompeta de Haydn y música teatral japonesa). Los resultados se representan en la fig. 3 utilizando una escala de calidad de 5 notas. Puede verse que la mejor calidad de la imagen tuvo una nota inferior en 0,65 a la calidad proporcionada por la norma de televisión digital 4:2:2 de la Recomendación 601.

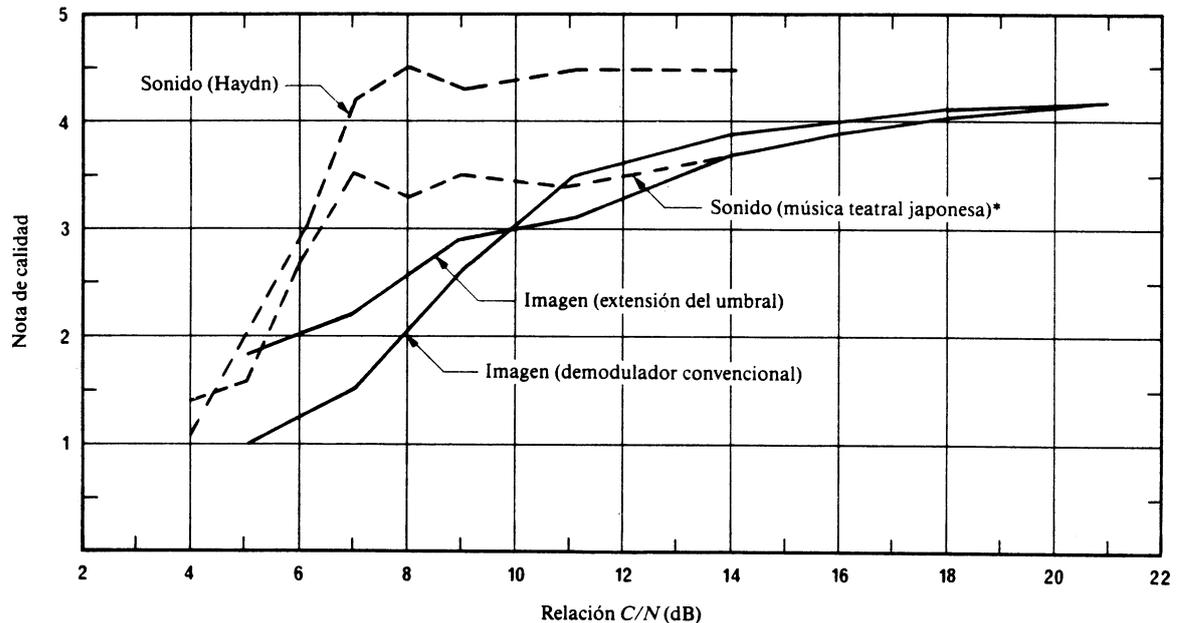


FIGURA 3 – Calidad en función de la relación C/N para el sistema A-SECAM (37 observadores)

\* Los expertos de la UER que participaron en las pruebas subjetivas opinan que la degradación de la música japonesa para relaciones portadora/ruido superiores a 8 dB en comparación con la música de Haydn se debía a una sobrecarga del convertidor analógico/digital a la entrada de modulación.

### 2.3.3 Puntos de degradación de la imagen y el sonido

Suponiendo que el punto de degradación corresponda a la nota de calidad 1,5, las pruebas subjetivas en que se presentaron simultáneamente los programas de imagen y sonido y que consistieron en un concierto de guitarra en el estudio dieron los siguientes resultados en términos de relación portadora/ruido (C/N):

#### Imagen

Demodulador convencional: 5 dB

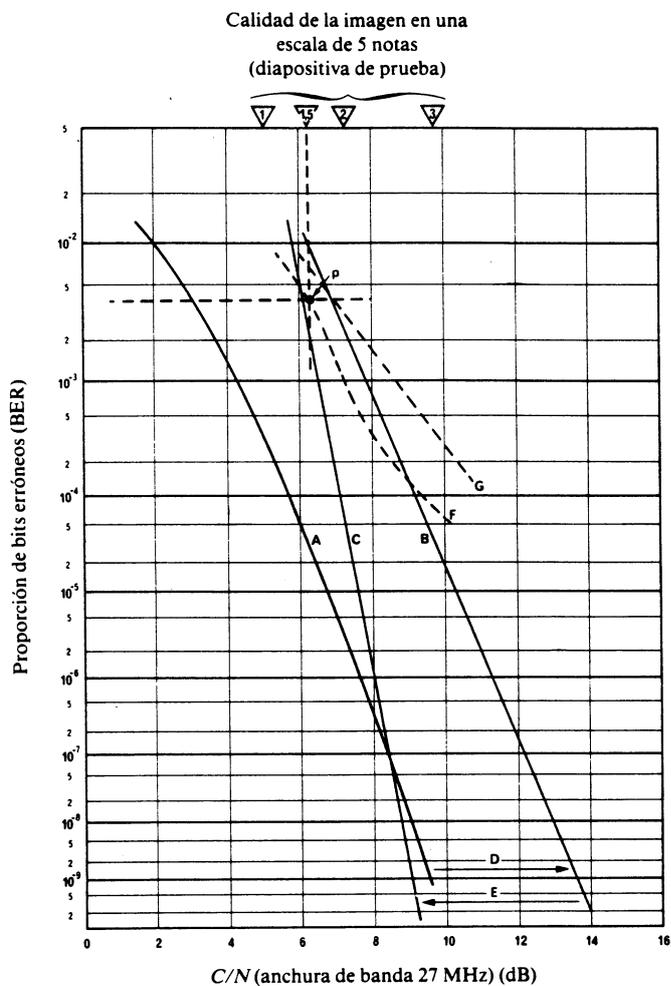
Demodulador de extensión del umbral: 4 dB

Sonido: 4 dB

Conviene advertir que las diferencias con relación a los resultados expresados en la fig. 3 se deben a la metodología de la prueba y a los criterios de evaluación.

ANEXO II

RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL SISTEMA DE SUBPORTADORA DIGITAL PARA USO EN EL SISTEMA DE TELEVISIÓN M (JAPÓN)



Relación entre la proporción de bits erróneos y C/N para el sistema de subportadora de sonido con modulación digital

Máxima frecuencia de la señal de video: 4,5 MHz  
 Desviación de frecuencia de la portadora principal por la señal de video: 17 MHz cresta a cresta  
 Frecuencia de la subportadora: 5,727272 MHz  
 Desviación de frecuencia de la portadora principal por la subportadora: ± 3,25 MHz  
 Velocidad binaria de transmisión: 2,048 Mbit/s

- C/N con respecto a la proporción de bits erróneos
- A Valor teórico (Nyquist)
- B Valor experimental, sin corrección de errores ni interpolación
- C Valor experimental, con corrección de errores e interpolación
- - - - - Proporción de bits erróneos cuando la calidad de sonido subjetiva es igual que la calidad de la imagen (compansión casi instantánea 14/10 bits)
- F Diapositiva de prueba (mujer/playa)
- G Barra de color

- D Degradación del valor teórico al valor experimental
- E Mejora de la proporción de bits erróneos mediante corrección de errores y técnica de interpolación
- p Proporción de bits erróneos de  $4 \times 10^{-3}$ , correspondiente a 1,5 en la escala de 5 notas, sin corrección de errores ni interpolación



## ANEXO III

RESULTADOS EXPERIMENTALES RELATIVOS AL SISTEMA DE MULTIPLEXADO  
TEMPORAL EN BANDA DE BASE «D2-MAC/PAQUETES»

(Sistema de tipo B que utiliza una codificación duobinaria)

En el presente anexo se resumen los resultados de numerosas experiencias efectuadas en Francia, en laboratorio, con un equipo de simulación de satélite de radiodifusión que tiene las características siguientes:

- filtro de entrada (incluido el filtro de emisión de la estación terrena, suponiendo que esta última funcione en modo lineal):
    - anchura banda entre puntos a  $-3$  dB      34 MHz
    - distorsión parabólica del retardo de grupo en una anchura de banda de 27 MHz      20 ns
  - conversión amplitud/fase del TOP       $5^\circ/\text{dB}$
- El filtro de salida, cuya anchura es de 50 MHz, no produce ninguna distorsión mensurable de la señal:
- el demodulador de frecuencia es de tipo convencional o del tipo de extensión del umbral.

**1. Proporción de bits erróneos**

Teniendo en cuenta la precodificación efectuada en la transmisión (división módulo 2 de la señal binaria por el polinomio generador del código duobinario  $(1 + 2)$ ), los bits erróneos son independientes.

Las curvas de la fig. 4 dan la proporción de errores medida mediante el modelo de simulación con:

la curva A: demodulador de frecuencia clásico;

la curva B: demodulador de frecuencia de umbral mejorado que utiliza un filtro adaptable.

En la fig. 5 se halla el principio del demodulador de frecuencia de extensión del umbral utilizado para estos ensayos. Con el dispositivo descrito, el filtro FI conserva una anchura de banda de 27 MHz para los valores de la relación  $C/N$  superiores a 11 dB, valor que corresponde al umbral de modulación de frecuencia. Por debajo de 11 dB, la anchura de banda del filtro FI se reduce progresivamente hasta unos 14 MHz.

Los ensayos realizados en el Reino Unido en condiciones análogas, esto es, con dos anchuras de banda FI, han proporcionado resultados que confirman los de la fig. 4.

Utilizando el decodificador de Viterbi pueden obtenerse nuevos perfeccionamientos de 0,5 dB aproximadamente [Alard, 1986a y b; Jankowiak, Lamnabhi y Arragon, 1985].

**2. Calidad de imagen y del sonido para el sistema D2-MAC/paquetes**

En Francia se han efectuado pruebas subjetivas con observadores, de los cuales la mayoría eran expertos. Basándose en esas pruebas y en los elementos comunes entre los sistemas C-MAC/paquetes y D2-MAC/paquetes señalados a continuación, se han establecido curvas de calidad de la imagen y del sonido. Con objeto de evitar la multiplicidad de los resultados, sólo se han dado para el sistema D2 las curvas de calidad correspondientes a las del anexo V para el sistema C-MAC/paquetes.

**2.1 Descripción de los elementos comunes a los sistemas C-MAC/paquetes y D2-MAC/paquetes**

- *Imagen:* Los dos sistemas son idénticos en lo que respecta a la transmisión de la imagen:
  - igual codificación;
  - igual preacentuación;
  - igual desviación de la frecuencia;
  - igual dispersión de energía.

Las posibles diferencias de calidad en la señal de imagen sólo pueden proceder de diferencias en el comportamiento del demodulador de frecuencia.

- *Sonido:* Los dos sistemas sólo difieren en las características de la velocidad binaria, de la codificación de la señal digital y de la modulación. Sin embargo, teniendo en cuenta el entrelazamiento de los bits y la distribución de los errores, las pruebas han permitido demostrar que una misma proporción de errores en los dos sistemas conduce a igual calidad del sonido, con una ley de codificación y un nivel de protección dados.

**2.2 Demodulador convencional**

En la fig. 6 se hallan las curvas de calidad de la imagen y del sonido, de codificación casi instantánea y de protección por bits de paridad, utilizando un demodulador convencional de frecuencia.

## 2.3 Demodulador de extensión del umbral

En la fig. 7 se muestra la calidad de la imagen y del sonido empleando un demodulador de frecuencia de extensión del umbral con filtro adaptable. El sonido tiene una codificación casi instantánea con un bit de paridad para la protección contra errores.

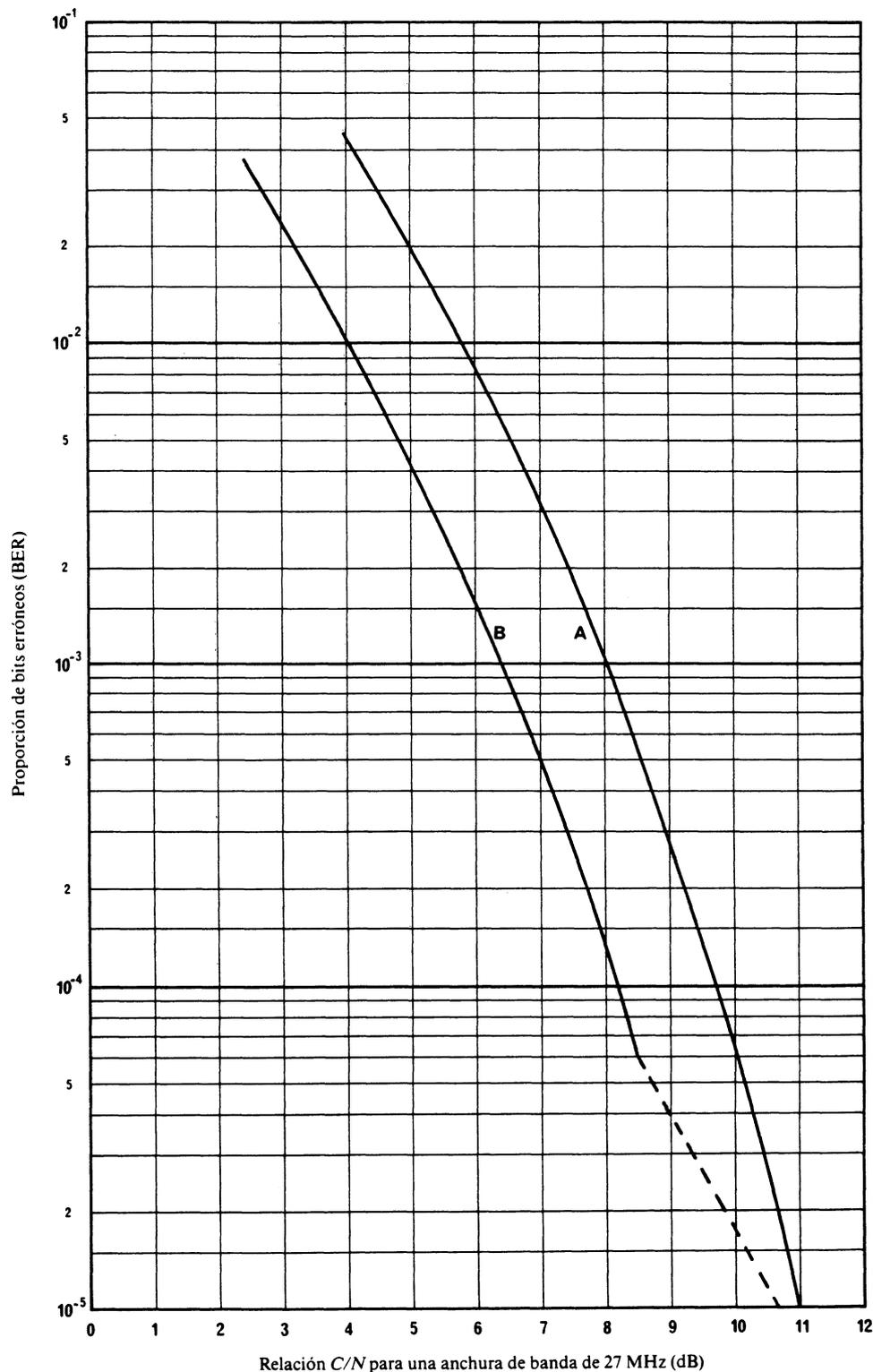


FIGURA 4 - Proporción de bits erróneos (BER) medida por medio de un simulador de satélite:  
 - Velocidad binaria: 10,125 Mbit/s  
 - Modulación: duobinaria MF

Curvas A: Demodulación clásica

B: Demodulación mediante un demodulador de extensión del umbral con filtro adaptable

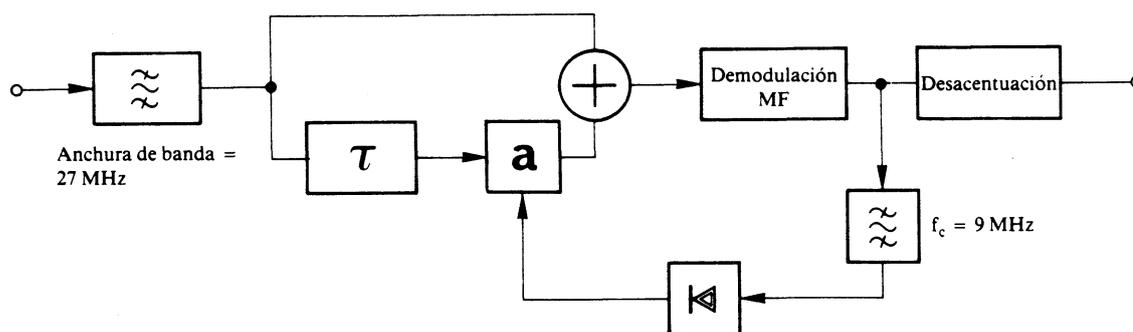


FIGURA 5 – Principio de un demodulador de extensión del umbral basado en la reducción progresiva de la anchura de banda del filtro FI cuando la relación C/N alcanza el umbral de demodulación de frecuencia (11 dB)

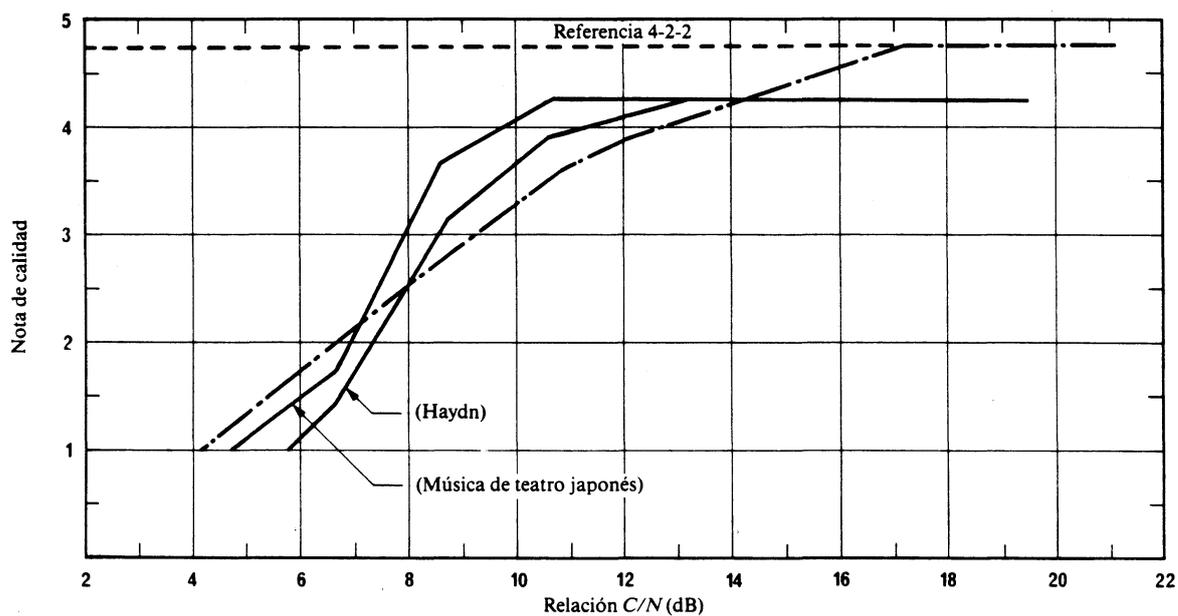


FIGURA 6 – Calidad de la imagen y del sonido en función de la relación C/N para un demodulador convencional

- Sonido (con codificación casi instantánea y protección por bit de paridad)
- - - Imagen

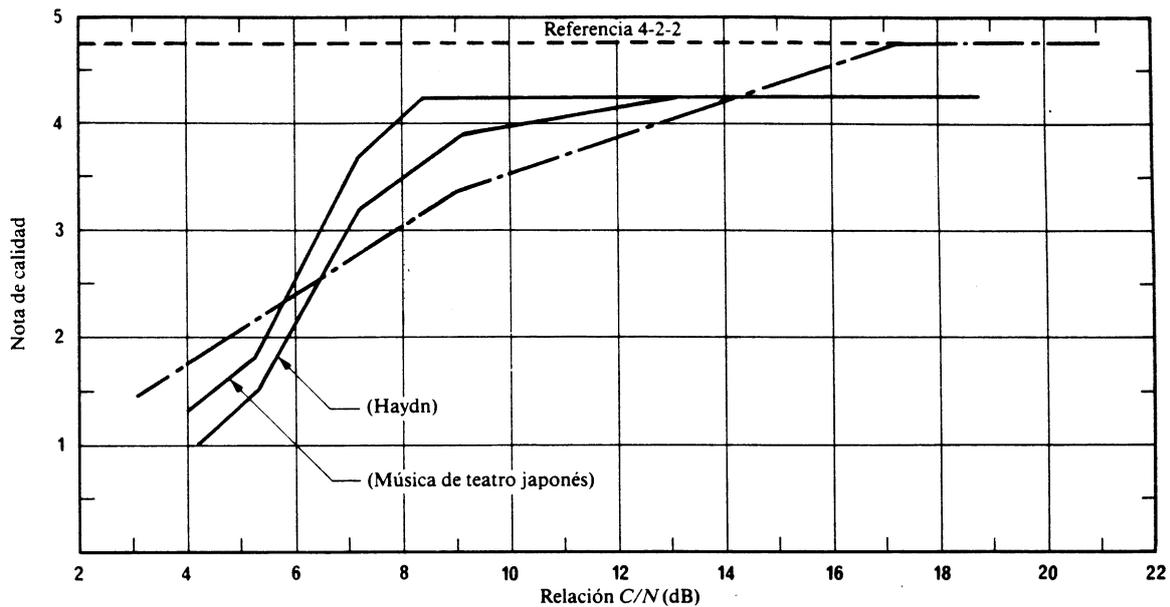


FIGURA 7 - Calidad de la imagen y del sonido en función de la relación C/N para un demodulador de extensión del umbral con filtro adaptable (véase la fig. 5)

— Sonido (con codificación casi instantánea y protección por bit de paridad)  
 -.- Imagen

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALARD, M. [1986a] - Démodulation d'un signal duobinaire selon l'algorithme de Viterbi (CSETT doc. - ref. MDD/RDT/135/86/MA).

ALARD, M., [1986b] - Distribution et diffusion terrestre en D2-MAC/paquets (Paper presented at the Third Liège Conference, on New Systems and Services in Telecommunications, North Holland, 1987).

JANKOWIAK, G., LAMNABHI, M. y ARRAGON, J.P. [1985] - Transmission sur réseaux câblés des signaux numériques de la famille X-MAC/paquets (ACTA Electronica Review, vol. 27 N<sup>o</sup> 1-2, 1985).

#### ANEXO IV

##### RESULTADOS EXPERIMENTALES RELATIVOS AL SISTEMA DE MULTIPLEXADO TEMPORAL EN BANDA DE BASE "D2-MAC/PAQUETES"

"D-MAC/paquete" (sistema de tipo B que utiliza una codificación duobinaria)

##### 1. Introducción

En el presente anexo se resumen los resultados de las pruebas de laboratorio efectuadas en el Reino Unido con equipos de simulación de un canal de satélite (Priestman y O'Neill, 1987 y Beech, 1987) y en un canal lineal (Clark, 1987).

Las características del equipo de simulación del canal de satélite eran las siguientes (véase Stickland y Barber, 1984):



Filtro de entrada del satélite

Anchura de banda entre puntos a 3 dB: 36 MHz  
 Anchura de banda entre puntos a 20 dB: 44 MHz  
 Retardo de grupo: 5 ns a la frecuencia central  $\pm$  13,5 MHz.

Filtro de salida del satélite

Anchura de banda entre puntos a 3 dB: 38 MHz  
 Anchura de banda entre puntos a 20 dB: 52 MHz  
 Retardo de grupo: 8 ns a la frecuencia central  $\pm$  13,5 MHz.

Amplificador TOP del satélite

El factor de conversión de MA a MP es de 5,5 grados/dB, valor medido que es típico de los TOP utilizados en las aplicaciones de radiodifusión por satélite con gran potencia. El TOP funciona en saturación (el valor especificado es de 5 grados/dB).

El factor de conversión de MA a MP no es significativo para la componente de datos del sistema D-MAC/paquetes. La componente transmitida de datos modulados en frecuencia tiene una envolvente que es casi constante y sólo una pequeña parte de la energía cae fuera de la banda de paso del filtro típico de multiplexión a la entrada del satélite de radiodifusión directa. Por tanto, la señal a la entrada del tubo de ondas progresivas tiene una amplitud prácticamente constante.

El transmisor de enlace de conexión es normalmente un klystron de 1,5 kW que funciona con una potencia de salida de 1 kW aproximadamente.

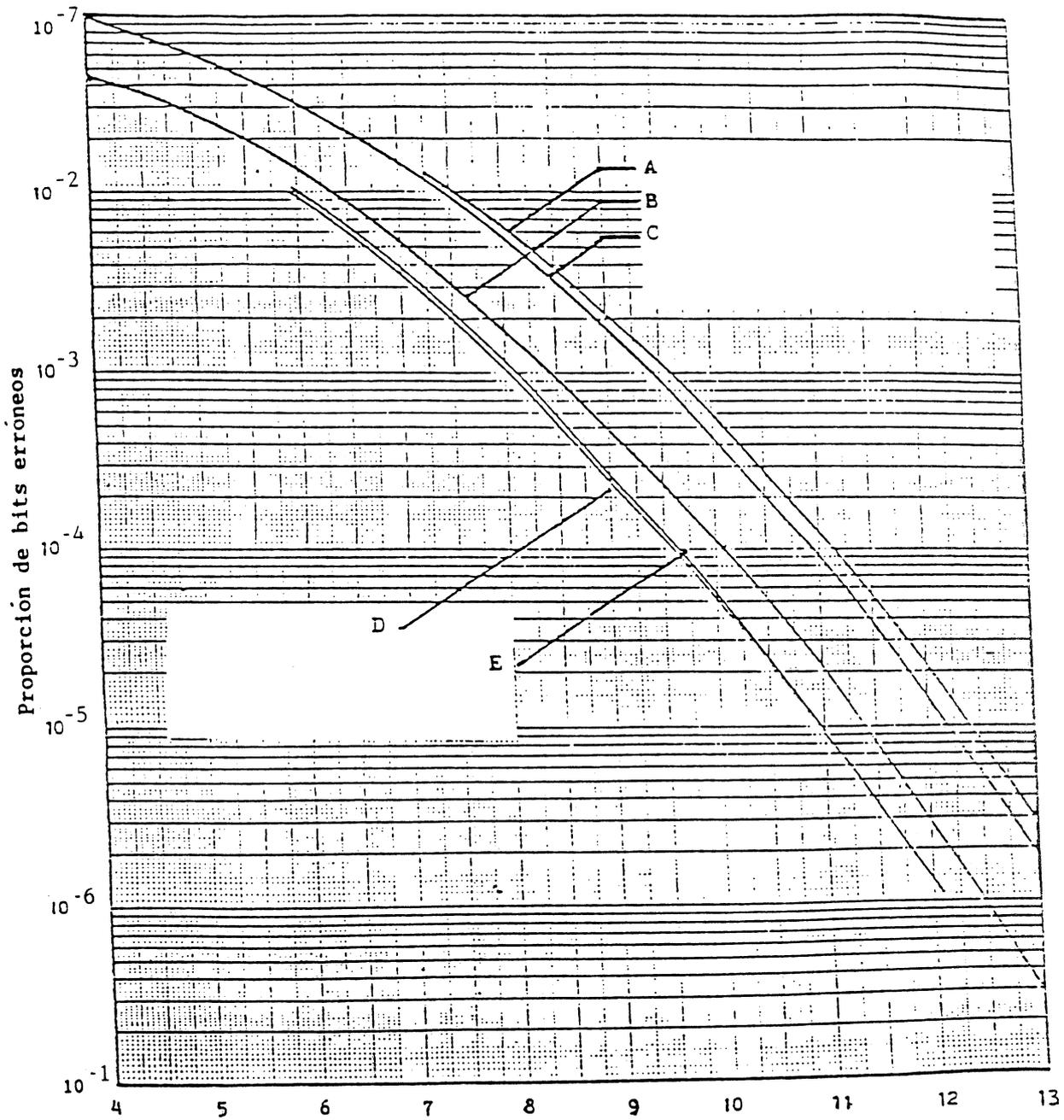
No añade ruido térmico en el enlace de conexión.

2. Proporción de bits erróneos

Las curvas de la Figura 8 muestran las proporciones de bits erróneos obtenidas para las diversas condiciones de transmisión.

Las curvas C y B se refieren a un canal lineal con filtros de FI de anchuras de banda de 27 MHz y 21 MHz, respectivamente. Puede verse que con el filtro de FI de anchura de banda 21 MHz se obtiene una mejora de la calidad de 1 dB aproximadamente para una proporción de bits erróneos de  $10^{-3}$ . Esta anchura de banda del filtro es compatible con la transmisión de imagen MAC de baja distorsión y ofrece también una mejora de 1 dB aproximadamente en el umbral de modulación de frecuencia para la señal de imagen, en comparación con el filtro de FI de anchura de banda 27 MHz. La curva A se refiere al canal simulado de satélite con un filtro de 27 MHz de anchura de banda en FI.

Pueden obtenerse otras mejoras de la calidad utilizando técnicas de decodificación de máxima probabilidad (algoritmo de Viterbi). Las curvas D y E de la Figura 8 se refieren a un receptor que utiliza tales técnicas y a un filtro de 21 MHz en FI, en un canal lineal y a través del simulador del satélite, respectivamente. La relación portadora/ruido para una proporción de bits erróneos de  $10^{-3}$  es de 8 dB. Por tanto, utilizando dichas técnicas, se satisface el criterio de continuidad del servicio con una proporción de bits erróneos de  $10^{-3}$  para una relación portadora/ruido de 8 dB. La degradación debida al canal de satélite es despreciable.



Relación portadora/ruido (dB) en la banda de paso de 27 MHz

FIGURA 8

Proporción de bits erróneos del sistema D-MAC/paquetes con modulación de frecuencia

- |    |                                      |                           |
|----|--------------------------------------|---------------------------|
| A: | Canal simulado de satélite de 27 MHz | } decodificación normal   |
| B: | Canal lineal de 21 MHz               |                           |
| C: | Canal lineal de 27 MHz               |                           |
| D: | Canal lineal de 21 MHz               | } codificación de Viterbi |
| E: | Canal simulado de satélite de 21 MHz |                           |

El Cuadro IV muestra los resultados de las mediciones de múltiples bits erróneos para el sistema D-MAC/paquetes que utiliza la decodificación normal en un canal lineal (Clark, 1987). Las proporciones de bits erróneos dobles, triples y de orden superior son pequeñas comparadas con la proporción de bits erróneos total. El resultado de desintercalar estos errores en el receptor D-MAC/paquetes es la distribución de los errores binarios individuales a través de múltiples datos, de forma que los datos de salida contengan fundamentalmente errores binarios simples aislados.

CUADRO IV

Parámetros de los bits erróneos múltiples en el caso del sistema D-MAC/paquetes con modulación de frecuencia

Anchura de banda del filtro del receptor en FI	R(1) = BER	R(2)	R(3)	R(4)
27 MHz	$3,2 \times 10^{-3}$	$2,9 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-5}$	$4,8 \times 10^{-7}$
20 MHz	$1,3 \times 10^{-3}$	$5,3 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-6}$	$4,9 \times 10^{-8}$

Relación de potencia portadora/ruido: 8,5 dB en una anchura de banda de 27 MHz. (Medida realizada en un canal lineal.)

$$R(n) = \frac{\text{índice de aparición de un grupo de } n \text{ bits erróneos consecutivos (apariciones/s)}}{\text{velocidad de los datos (bits/s)}}$$

3. Calidad del sonido y de la imagen del sistema D-MAC/paquetes

3.1 Sonido

Como resultado del proceso de desintercalado que realizan los sistemas MAC/paquetes, la calidad del canal de sonido depende únicamente de la proporción de bits erróneos del canal. Por tanto, es posible utilizar los resultados aplicables al sistema C-MAC/paquetes para la calidad del sonido de las distintas opciones de codificación sonora MAC/paquetes, escalándolas adecuadamente según las diferencias de la relación portadora/ruido entre el sistema C-MAC/paquetes y el sistema D-MAC/paquetes.

Utilizando el algoritmo de decodificación de Viterbi, la calidad del sonido del sistema D-MAC/paquetes es igual a la del sistema C-MAC/paquetes para relaciones portadora/ruido equivalentes o superiores a 6 dB.

Así pues, los receptores del sistema D-MAC/paquetes que utilizan el algoritmo de decodificación de Viterbi pueden satisfacer el criterio de servicio para la familia de sistemas MAC/paquetes.

3.2 Imagen

La codificación y modulación de la imagen en el sistema D-MAC/paquetes son idénticas a las de los otros miembros de la familia MAC/paquetes. Por tanto, la calidad de la imagen es idéntica a la de sistemas C-MAC/paquetes y D2-MAC/paquetes descrita en el anexo del presente Informe. En la Figura 9 se ilustra la respuesta de frecuencias en banda de base del sistema D-MAC/paquetes

para el caso de un filtro de banda de base de 8,4 MHz en el receptor. Se observará que, en el caso de un filtro de 21 MHz, hay una pequeña degradación de la respuesta de alta frecuencia. Sin embargo, esto se limita a una reducción inferior a 0,5 dB en el peor de los casos registrados con señales visuales típicas correspondientes a -3 dB con relación a 1 Voltio de cresta a cresta. La utilización de un filtro de 27 MHz permitirá aumentar la anchura de banda en el sistema.

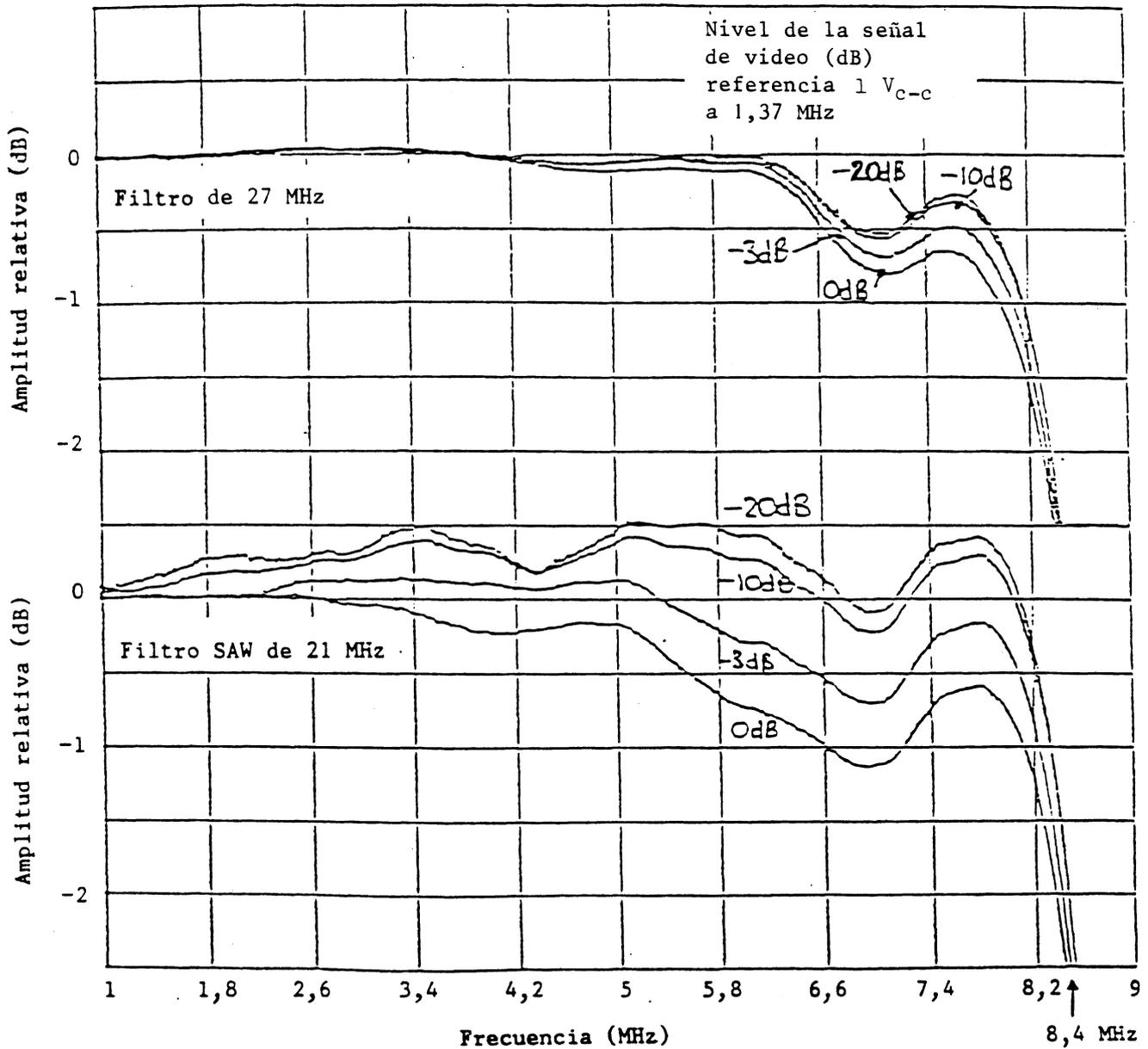


FIGURA 9

Respuesta en frecuencia en banda de base de los equipos D-MAC/paquetes que utilizan dos filtros de canal diferentes y un filtro de banda de base de 8,4 MHz en el receptor

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEECH, B. 1987. The Use of the Viterbi Decoding Algorithm in a Receiver for the D-MAC/packet System Transmitted Through an FM Channel. IBA Experimental and Development Department Report 138/87.

CLARK, D.S. 1987. Transmission of the D-MAC/packet System Through a FM Channel. IBA Experimental and Development Department Report 133/87.

PRIESTMAN, S.R. y O'NEILL, H.J. 1987. The Results of Tests on D-MAC Signals Utilising a Breadboard Satellite Transponder. IBA Experimental and Development Department Report No Ed 137/87.

STICKLAND, C. y BARBER, C.P. 1984. Breadboard Payload for DBS Satellites. IEE Conference Publication No 240 - International Broadcasting Convention, Brighton, septiembre de 1984.

ANEXO V

RESULTADOS EXPERIMENTALES REFERENTES AL SISTEMA DE MULTIPLAJE  
POR DISTRIBUCION EN EL TIEMPO EN RADIOFRECUENCIA (SISTEMA DE TIPO C)

Se resumen a continuación los resultados de numerosas pruebas efectuadas por la UER tanto en el laboratorio como con el satélite OTS, sobre el sistema tipo C, operado en conjunción con una señal de imagen MAC y en el caso de un múltiplex de representación estructural continua o un múltiplex de paquete.

1. **Proporción de bits erróneos**

Véanse a continuación las figs. 10 y 11 y el Cuadro V.

CUADRO V - BER medida típica en relación con la C/N para distintos métodos de modulación de MDP-2-4

	C/N en la banda de 27 MHz para una BER de $10^{-3}$ (dB)
Demodulación $T$ , esto es, demodulador diferencial convencional	7,9
Demodulación $T + 2T$ esto es, demodulador «Masamura» (1)	7,3
Demodulación coherente (datos continuos solamente)	7,1

(1) El demodulador «Masamura» [Masamura y otros, 1979] da un resultado que se acerca al del demodulador coherente y puede alcanzar ese rendimiento en el modo de ráfagas.

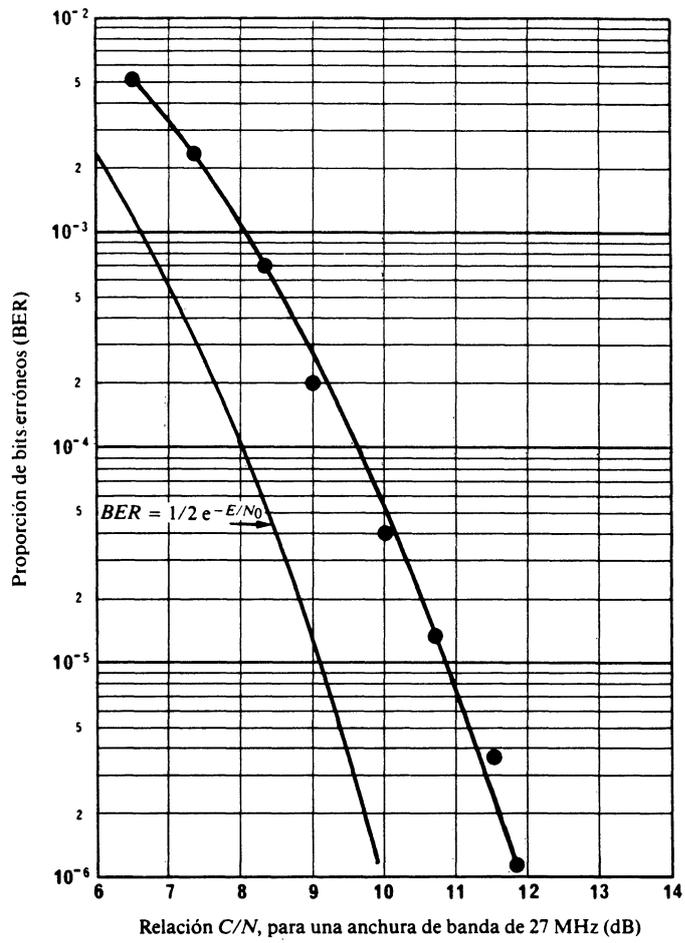


FIGURA 10- Proporción típica de bits erróneos medida en el caso de transmisión por el satélite OTS y varios simuladores de satélite

Velocidad binaria: 20,25 Mbit/s  
MDP-2-4 con demodulación diferencial

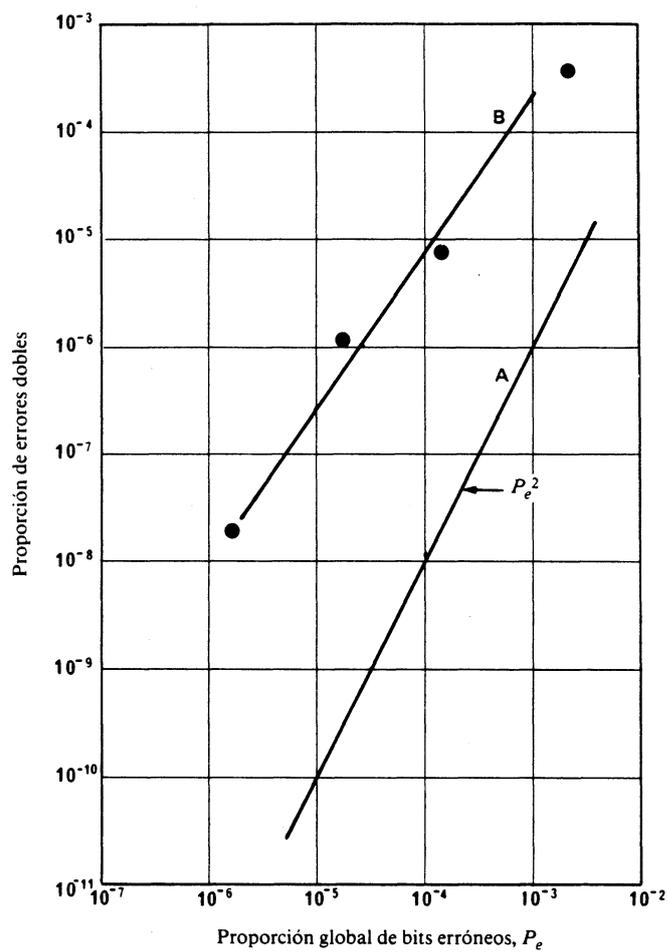


FIGURA 11- *Proporción de errores dobles en función de la proporción global de bits erróneos*

- A: Errores independientes (teóricos:  $P_e^2$ )  
 B: Medidos para MDP-2-4 con demodulador diferencial que utiliza línea de retardo analógica y multiplicador

## 2. Calidad de sonido e imagen en el sistema C-MAC

Se han realizado pruebas subjetivas con un grupo de observadores (véase el § 2.3.2 del anexo I).

Las pruebas de sonido se realizaron con modulación diferencial convencional en la señal MDP-2-4, pero con diferentes leyes de codificación, sistemas de multiplexado y niveles de protección. Dos combinaciones de estos aspectos diferentes fueron objeto de una evaluación subjetiva de acuerdo con la Recomendación 562. Los resultados se obtuvieron en diferentes ocasiones, con la participación de 37 observadores en la combinación 1 y de 15 observadores en la combinación 2. Para facilitar la comparación entre la fig. 12 y las figs. 13a y 13b se utilizó la misma proporción de bits erróneos,

*Combinación 1:* Multiplexado por mapa de estructura, utilizado en conjunción con una ley de compresión-expansión casi instantánea, una protección de código Hamming y factor de escala dentro de los bits de paridad. En razón de la técnica de protección contra errores aplicada, la capacidad de esta combinación se redujo de ocho a seis los canales de sonido de 15 kHz.

*Combinación 2:* Multiplexado por paquetes definido en el Informe 1073 utilizando una ley de compresión-expansión casi instantánea con protección de paridad (primer nivel) y con protección de código Hamming (segundo nivel). Codificación lineal utilizando protección de paridad (primer nivel) y protección de código Hamming (segundo nivel). La capacidad de canales de sonido de 15 kHz va de 8 canales en el caso de la protección de primer nivel con ley de compresión-expansión casi instantánea a 4 canales en el caso de codificación lineal con protección de segundo nivel. En el caso de protección de segundo nivel de compresión-expansión casi instantánea y en el caso de la protección del primer nivel con codificación lineal la capacidad es de seis canales.

Los resultados correspondientes, expresados utilizando la escala de cinco notas, pueden verse en la fig. 12 para la combinación 1 y en las figs. 13a y 13b para la combinación 2.

De la fig. 12 se desprende que la mejor calidad de imagen es tal que el sistema C-MAC se puede considerar «transparente» respecto a la norma 4:2:2 de la Recomendación 601. De las figs. 13a y 13b se desprende que las cuatro posibilidades de codificación del sonido de alta calidad del sistema C-MAC paquetes se aproximan a la calidad de referencia ( $> 4,8$ ) por encima de un valor de la relación  $C/N$  de 9,5 dB.

## 3. Puntos de fallo de la imagen y el sonido

Para la combinación 1 y para la ley con compresión-expansión casi instantánea de la combinación 2 descrita en el § 2 se hicieron pruebas subjetivas en las que los elementos de imagen y sonido del programa se presentaron simultáneamente a fin de definir los puntos de fallo relativos de la imagen y del sonido.

El programa consistía en la transmisión de una pieza para guitarra.

Se obtuvieron los siguientes valores de la relación  $C/N$  en los puntos de calidad mínima de la imagen y el sonido (nota 1,5 de calidad):

### *Combinación 1: Imagen*

– demodulador normal:	4 dB
– demodulador de extensión del umbral:	4 dB
<i>Sonido:</i>	4 dB

### *Combinación 2: Imagen*

– demodulador normal:	3 dB
– demodulador de extensión del umbral:	2 dB
<i>Sonido:</i>	4,5 dB

Las diferencias con relación a los resultados presentados en el § 2 (figs. 12 y 13) se deben a la aplicación de métodos y criterios de evaluación diferentes.

## 4. Límites de inteligibilidad de la palabra

Se evaluó para la combinación 2 el límite de inteligibilidad de la palabra con la presentación simultánea de la imagen y del sonido. Se obtuvo para este límite la cifra de 3 dB.

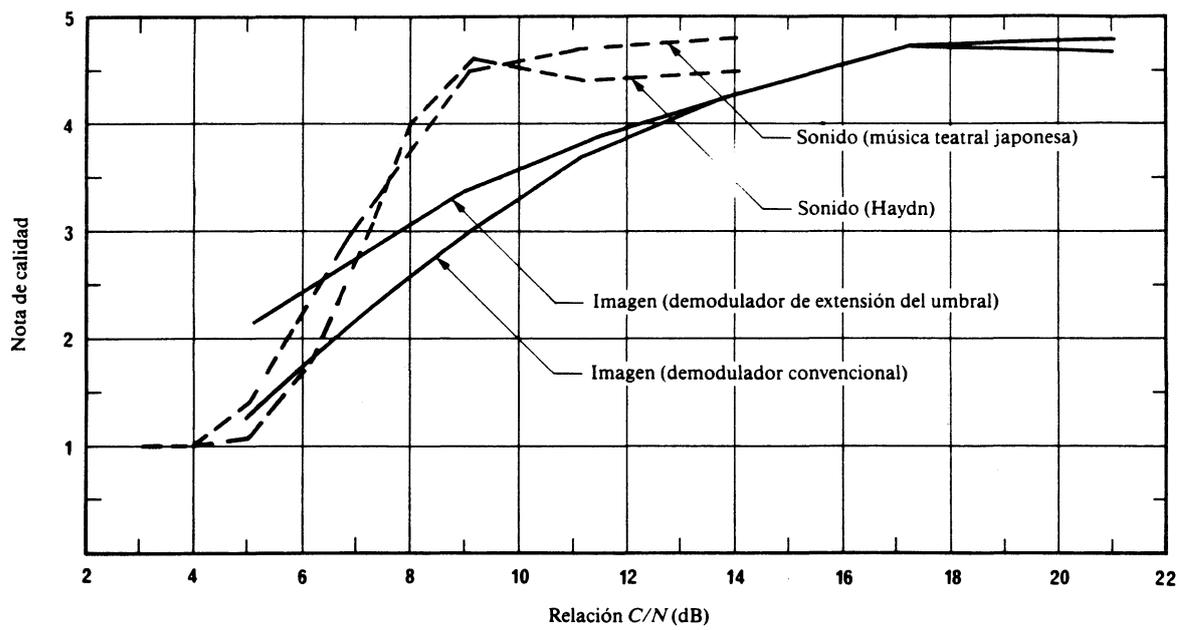


FIGURA 12 - Calidad en función de la relación C/N para la combinación 1 (37 observadores)

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MASAMURA, T., SAMEJIMA, S., MORIHIRO, Y. y FUKETA, H. [junio de 1979] Differential Detection of MSK with nonredundant error correction. *IEE Trans. Comm.*, Vol. COM-27, 6, 912-918.

#### BIBLIOGRAFÍA

CLARK, D. S. [1985] Demodulation techniques for 20 Mbit/s 2-4 PSK signals. IBA E & D Report No. 33/85.

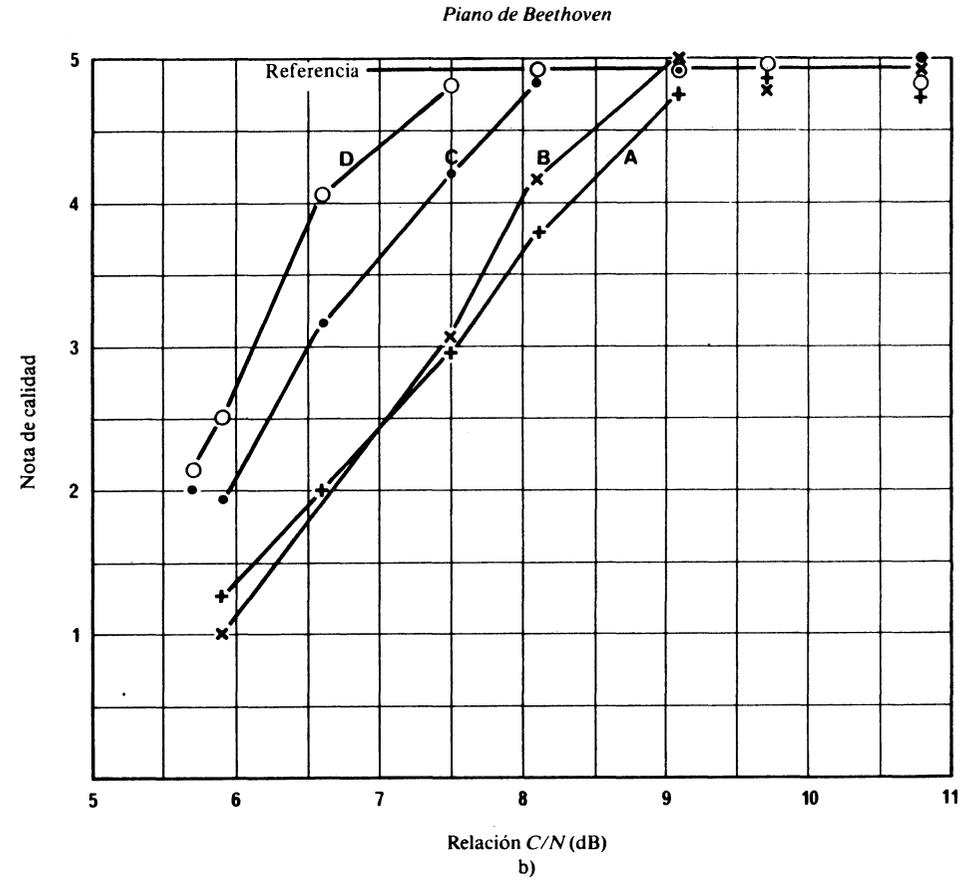
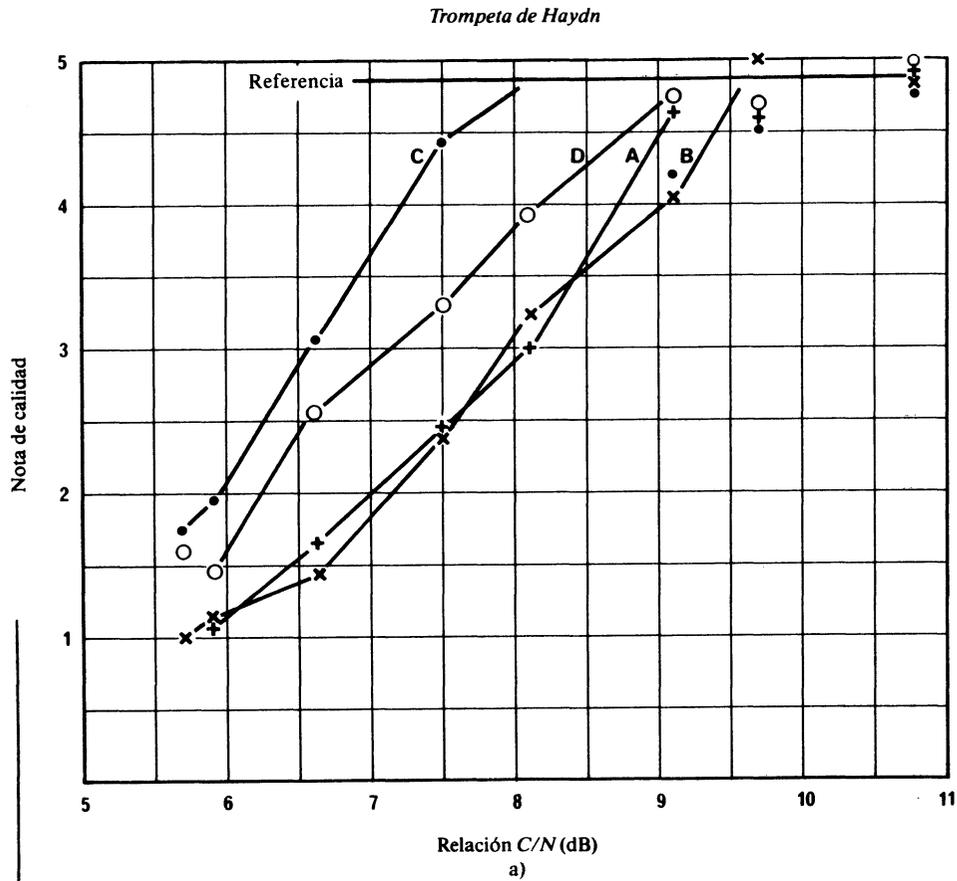


FIGURA 13 – Calidad subjetiva de las opciones de codificación del sonido del sistema C-MAC/paquetes\*

- Clave – A Protección de primer nivel con compresión-expansión  
 B Protección de primer nivel, lineal  
 C Protección de segundo nivel con compresión-expansión  
 D Protección de segundo nivel, lineal

\* Para la misma proporción de bits erróneos, estos resultados pueden ser también válidos para el sistema D2-MAC/paquetes que utiliza la misma ley de codificación y la misma protección contra errores que el sistema C-MAC/paquetes. La relación entre la proporción de bits erróneos y C/N se representa en la fig. 8 del anexo IV para el sistema C-MAC/paquetes y en la fig. 4 del anexo III para el sistema D2-MAC/paquetes.

