

LA ONDA MEDIA DIGITAL SISTEMA IBOC AM

Luis del Amo, *Ingeniero Técnico de Telecomunicación*
(Subdirector Técnico de la Cadena Ser)

En los últimos años se han realizado estudios y probado sistemas en todo el mundo para la introducción de la radiodifusión sonora digital, tanto en las bandas de frecuencias ya atribuidas a estos servicios (caso de la OM, OC y de la FM) o bien en nuevas bandas de frecuencias atribuidas a los servicios de radiodifusión sonora (caso del DAB).

Un caso particular son los sistemas que utilizan las bandas de ondas por debajo de 30 MHz (onda corta y onda media, fundamentalmente).

Algunos países han realizado estudios dentro del consorcio DRM (Digital Radio Mondiale) y otros como los EEUU han optado por desarrollar su propio sistema denominado IBOC (In-Band On-Channel).

En abril de 2005 el Comité Nacional de Sistemas de Radio (NRSC) de la Administración de EEUU aprobó el estándar



ABREVIATURAS

AAC	Advanced Audio Coding.
PAC	Perceptual Audio Coder (Lucent Technologies).
IBOC	In-Band On-Channel.
NRSC	Nacional Radio Systems Committe.
PDS	Personal Data Service.
SIS	Station Identification Service.
AAS	Auxiliary Applicaion Service.
MPS	Main Program Service.
OFDM	Orthogonal frequency division.
SBR	Replicación de banda espectral.
IDS	Information Data Service.
FEC	Froward Error Correction.
FCC	Federal Communications Commision

dar para la migración de las estaciones de Onda Media y Onda Corta denominado como NRSC 5 (sistema IBOC AM).

La diferente canalización utilizada para la onda medias en las distintas regiones de la UIT dificulta, en cierto modo, la normalización de un único sistema.

En algunos países la anchura de banda atribuida a las estaciones de onda media es de 9 kHz (caso de Europa) y en otros es de 20 kHz que permite la emisión en estéreo (caso de EEUU).

Con el fin de facilitar una migración gradual de los actuales sistemas de radiodifusión sonora analógicos a los sistemas digitales se han investigado sistemas que permiten realizar «simulcast», esto es transmitir en el mismo canal la señal analógica y la señal digital, sin que se originen interferencias entre ellas. La señal analógica es recepcionada por los anti-

guos receptores analógicos y la señal digital por los modernos receptores digitales.

SISTEMA IBOC AM

En los últimos años varias empresas de los EEUU, en colaboración con la FCC (Federal Communications Commisión), han realizado pruebas de laboratorio y de campo para la estandarización de un sistema de radiodifusión sonora digital en las bandas de frecuencias por debajo de los 30 MHz.

Por la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT) se establecieron los requisitos básicos que deberían satisfacer los futuros sistemas de radiodifusión sonora digital en las bandas de frecuencias por debajo de los 30 MHz:

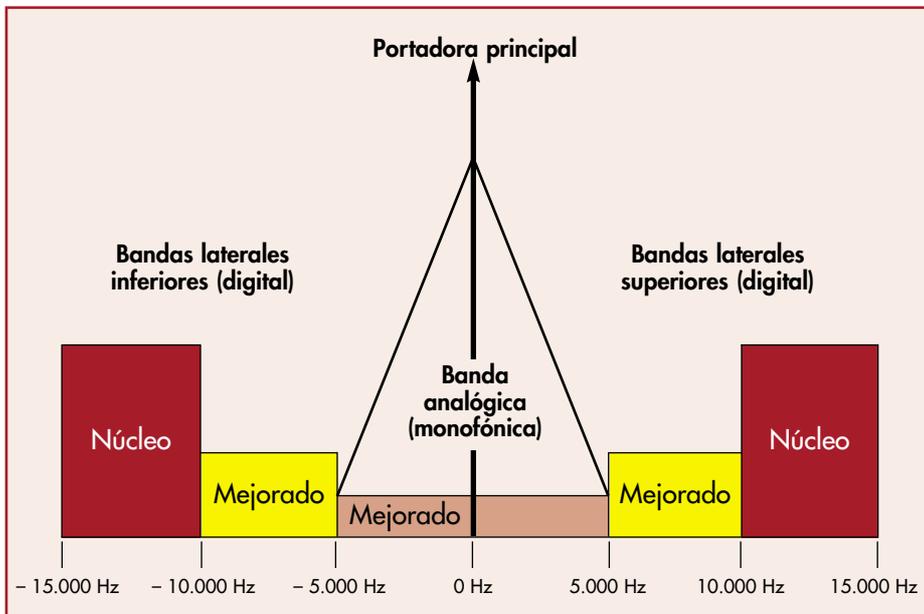


Figura 1 IBOC AM híbrido

- Capacidad para la transmisión de audio y datos.
- Calidad de la señal de audio recibida similar a la de las estaciones de frecuencia modulada.
- Alta compresión de audio.
- Compromiso entre robustez de la señal recibida y la calidad del audio.
- Eficiencia en la utilización del espectro radioeléctrico.
- Posibilidad de transmisión de señales estereofónicas.

Servicios soportados

Los servicios soportados por el sistema pueden resumirse en:

- **Main Program Service (MPS).** Corresponde al programa de audio, tanto digital como analógico. Incluye una determinada capacidad de datos para transmitir información relacionada con el programa.
- **Personal Data Service (PDS).** Corresponde a datos no relacionados con el programa y que son transmitidos para usuarios determinados.
- **Station Identification Service (SIS).** Corresponde a la transmisión de datos necesarios para el control e identificación de la estación. Facilita al usuario la selección de la estación de radio y sus servicios soportados.
- **Auxiliary Application Service (AAS).** Corresponde a la transmisión de

datos auxiliares para aplicaciones específicas.

Modos de funcionamiento

El sistema «por canal dentro de banda» (*in-band on-channel, IBOC*) puede funcionar en los modos «híbrido» y «totalmente digital». En el modo *híbrido* se transmite la señal analógica y la señal digital en el canal asignado a la señal analógica. En el modo *totalmente digital* todo el ancho de banda asignado a la estación se utiliza para la transmisión de las señales digitales por lo que aporta capacidades mejoradas de funcionamiento.

Modo híbrido (Simulcast)

La señal digital es transmitida en sendas bandas laterales a ambos lados y por debajo de la señal analógica.

La señal digital es reducida en amplitud respecto a la señal analógica.

El modo híbrido permite que, durante el periodo de introducción del sistema, sea posible la recepción del programa tanto por los nuevos receptores digitales como con los receptores convencionales de modulación de amplitud.

En este modo de funcionamiento no es posible la emisión en estéreo para la señal analógica. En contraprestación, la calidad de la señal digital es bastante superior a la de la señal analógica.

El codec núcleo proporciona la información de audio básica mientras que el codec mejorado proporciona información estereofónica de más alta calidad.

La velocidad binaria que nos permite el codec núcleo es de aproximadamente 20 kbit/s, con el codec mejorado aportamos otros 16 kbit/s.

Una prestación interesante de este modo de funcionamiento es que incorpora diversidad en el tiempo entre ambas señales, analógica y digital. La señal analógica es retardada respecto a la señal digital con el objeto de que exista sincronización entre ambas señales para la situación en que el receptor conmuta a la recepción analógica cuando se produce un elevado porcentaje de bits erróneos de la señal digital.

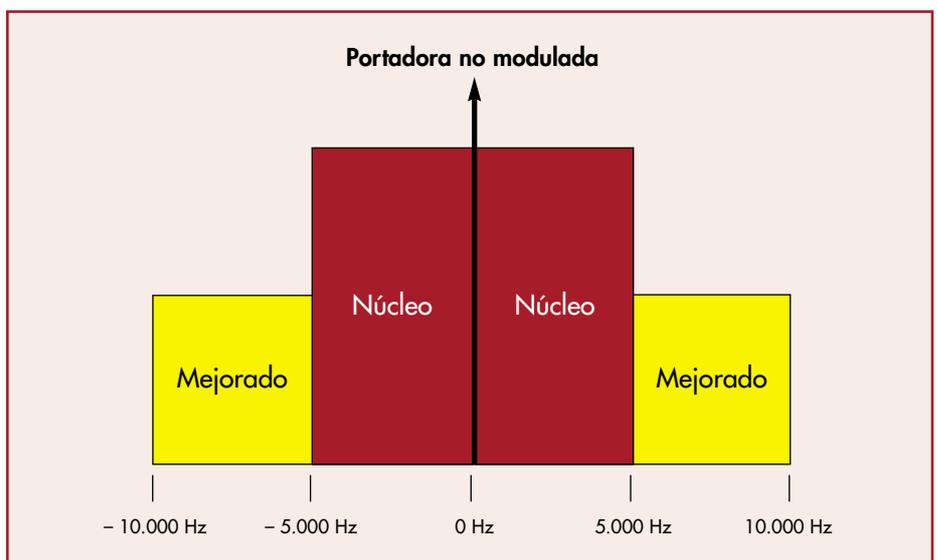


Figura 2 IBOC AM totalmente digital

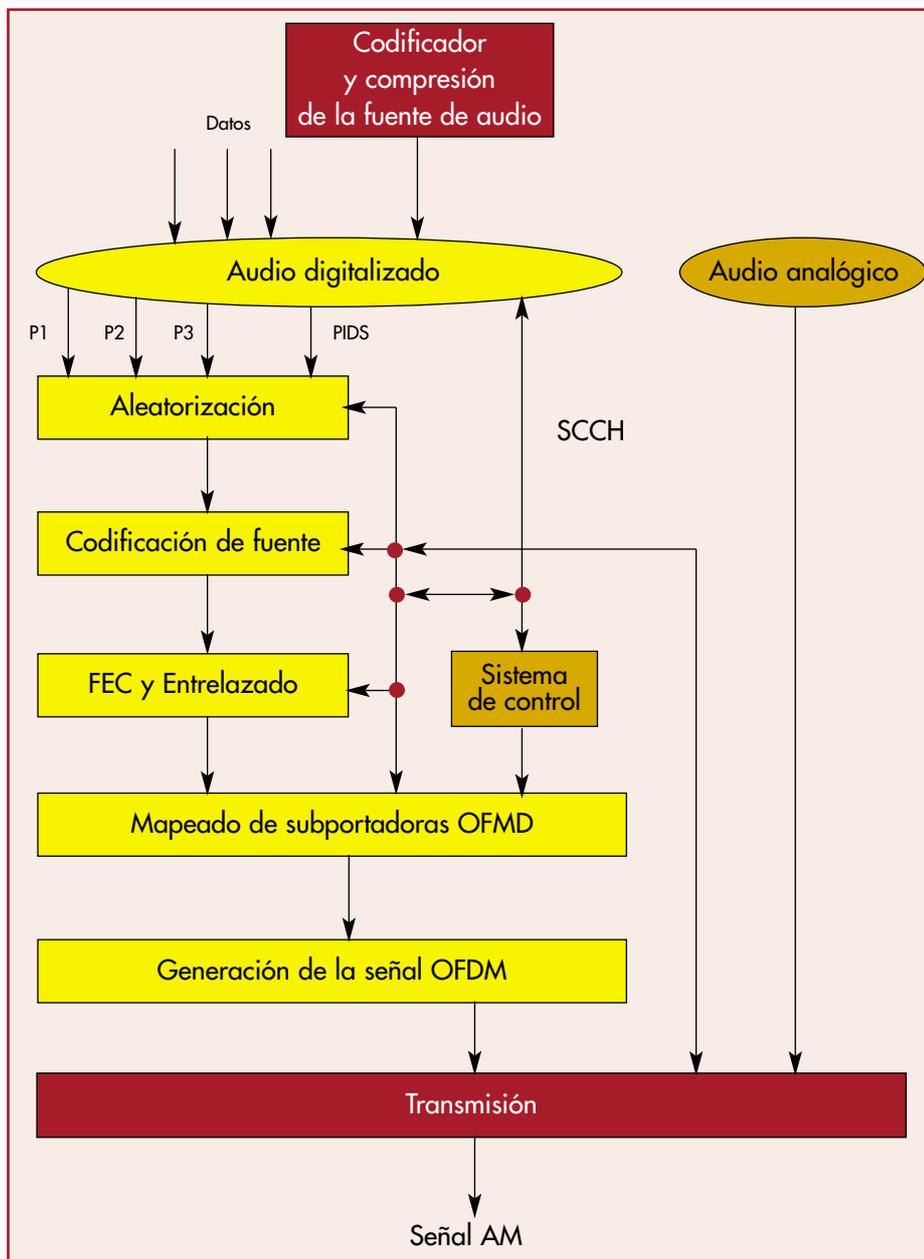


Figura 3 Diagrama de bloques funcional

Modo totalmente digital

Se transmiten exclusivamente las señales digitales. Permite el modo de funcionamiento mejorado.

Los radiodifusores pasarán del sistema híbrido al sistema totalmente digital cuando el número de receptores analógicos sea escaso.

La principal diferencia entre ambos sistemas es que en el sistema totalmente digital se ha suprimido la señal analógica, se han desplazado en frecuencia las señales digitales y se aumenta su potencia, según se muestra en la figura 2.

El sistema totalmente digital utiliza el mismo sistema de codec y los métodos

de FEC que el sistema híbrido con idénticas velocidades binarias (20 kbit/s para el audio del núcleo y 16 kbit/s para el audio mejorado). Esto simplifica el diseño del receptor que tiene que admitir ambos modos de funcionamiento.

Componentes del sistema

El sistema comprende cinco componentes básicos:

- **Codificador y compresión de la fuente de audio.**
- **Codificación de canal.**
- **Entrelazado en el dominio del tiempo y de la frecuencia.**

- **Generador OFDM.**
- **Mezclador señal principal y de respaldo.**

El audio una vez digitalizado alimenta el codificador de fuente. El AM IBOC suministra 4 canales lógicos: P1, P2, P3 y PIDS.

Los canales P1, P2 y P3 se utilizan para configurar los diferentes servicios de audio y el canal PIDS aporta la información de servicio (IDS).

Los canales P1 y P2 transmiten el audio asociado al codec núcleo y el canal P3 el audio asociado al codec mejorado.

El canal de control del sistema (SCCH, *system control channel*) transporta la información de control y estado relativos al modo de funcionamiento y parámetros de configuración.

El mapeado de subportadoras asigna las matrices de entrelazado a las subportadoras OFDM.

Codificación de la fuente

La capacidad disponible para el audio dentro del canal asignado de 20 kHz está netamente limitada a una velocidad binaria de unos 20 kbits/s para el audio del núcleo y de 16 kbit/s adicionales para el audio mejorado (estereofónico).

Esto representa un serio problema en términos de codificación de fuente, ya que el sistema debe entregar una señal con calidad equivalente a los actuales sistemas de frecuencia modulada.

El sistema IBOC AM puede utilizar dos tipos de codec:

- **AAC (Advanced Audio Coding)** complementado por SBR (Spectral Band Replication).
- Algoritmo de codificación **PAC de Lucent Technologies.**

En ambos casos se utiliza el efecto psicoacústico del oído con el objeto de transmitir exclusivamente aquella información no redundante. Se analiza cada porción del espectro de audio y se codifica exclusivamente aquellas componentes necesarias para el oyente. Los tonos enmascarados por otros próximos son eliminados.

AAC + SBR

La señal de audio se muestrea con una frecuencia de 24 kHz. El codec AAC codifica el espectro de audio hasta

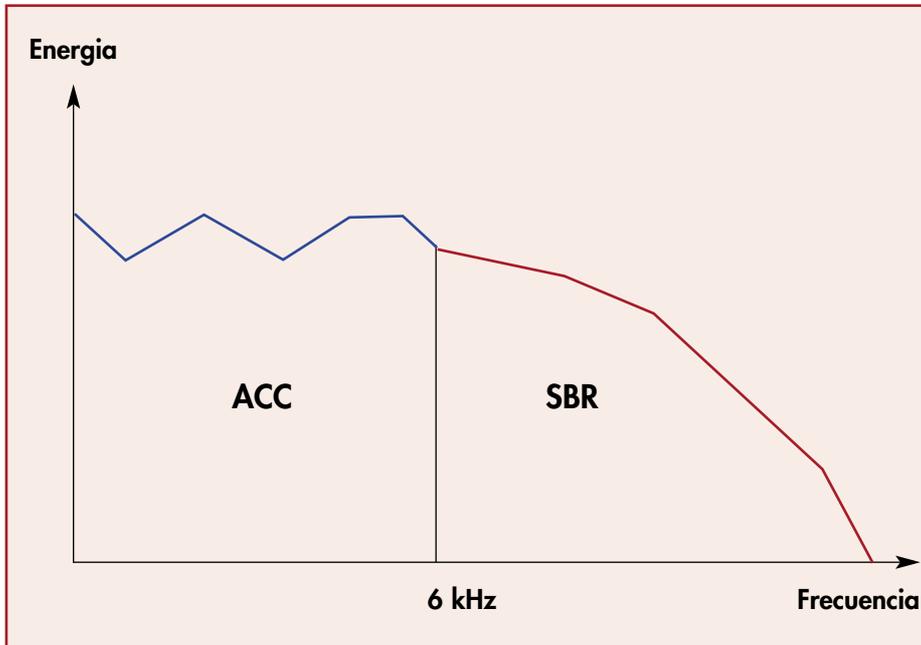


Figura 4 Reconstrucción del canal de audio

6 kHz y posteriormente mediante técnicas SBR se reconstruye la banda hasta los 15 kHz.

Mediante la técnica de replicación de banda espectral (SBR) se transmiten y reconstruyen los sonidos situados en la banda superior del audio, que son generalmente:

- **Del tipo ruido** (instrumentos de percusión, silbidos, etc.).

- **Periódicos** y relacionados con los que aparecen en la parte baja del espectro (armónicos de instrumentos y sonidos vocales).

El resultado da lugar a una velocidad binaria de aproximadamente 20 kbit/s (núcleo). Los 16 kbit/s correspondientes al codec mejorado permiten una calidad adicional del audio y la emisión estereofónica.

PAC (Lucent Technologies)

Utiliza técnicas avanzadas de procesamiento de la señal y modelos psicoacústicos que permiten una alta compresión de la señal de fuente. La frecuencia de muestreo utilizada es de 44,1 kHz.

Mediante un banco de filtros obtiene una descripción completa de la señal de audio cuyo procesamiento facilita un análisis de percepción auditiva para su cuantificación y posterior codificación, optimizando al extremo la información transmitida.

El PAC permite la compresión del audio para diferentes velocidades binarias, incluso tan bajas como 6 kbit/s.

En 64 kbit/s la calidad de audio es idéntica a la del disco compacto para la mayor parte de los oyentes.

La calidad de un canal de 6-8 kbit/s es similar a una señal de AM, la de un canal de 16-24 kbit/s es similar a una FM y la de un canal de 32 kbit/s es próxima a la del disco compacto (canal monofónico).

Codificación de canal y entrelazado en tiempo y frecuencia

En el proceso de codificación se añaden bits redundantes que facilitan la detección y corrección de errores. Ello minimiza la probabilidad de error de la señal decodificada en el receptor.

Errores producidos por fading, interferencias, ruido u otras causas en el trayecto transmisor-receptor pueden ser corregidas en el receptor. Se diseñan técnicas específicas de corrección avanzada de errores FEC (Forward Error Correction) basadas en estudios realizados para el tipo de interferencias asociadas a estas bandas. En las bandas de frecuencias por debajo de los 30 MHz las estructuras metálicas puestas a tierra pueden causar cambios rápidos en la amplitud y la fase que no están distribuidos uniformemente a lo largo de la banda. La longitud de onda de la señal transmitida es mayor que las longitudes de estas estructuras metálicas.

Los sistemas de corrección de errores funcionan bien si los errores están distribuidos de manera aleatoria. La correc-

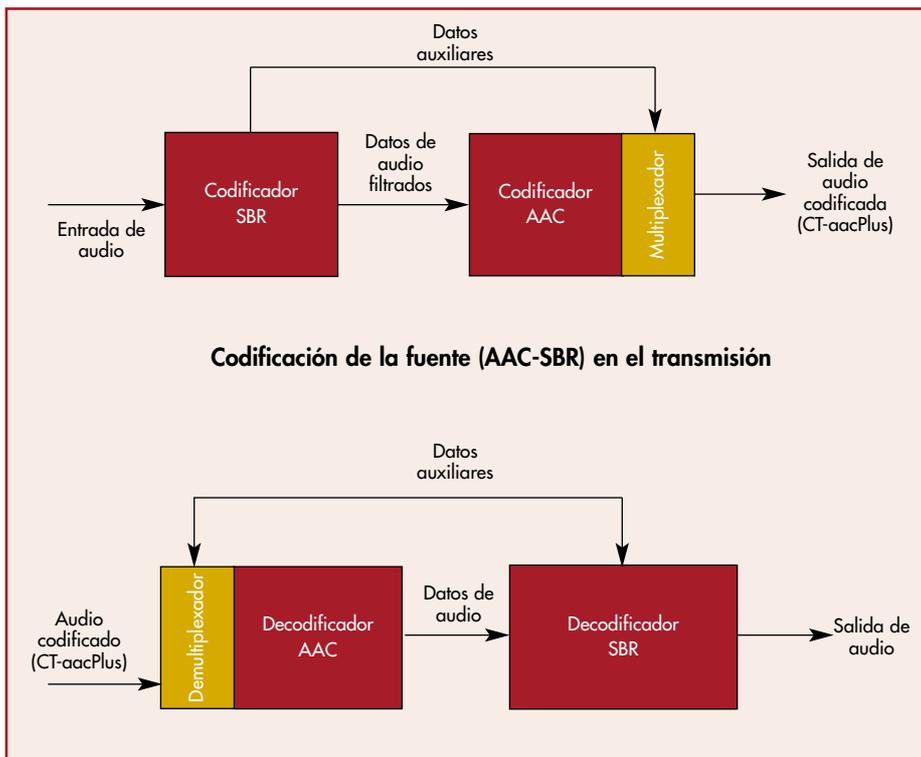


Figura 5 Decodificación de fuente (AAC - SBR) en recepción

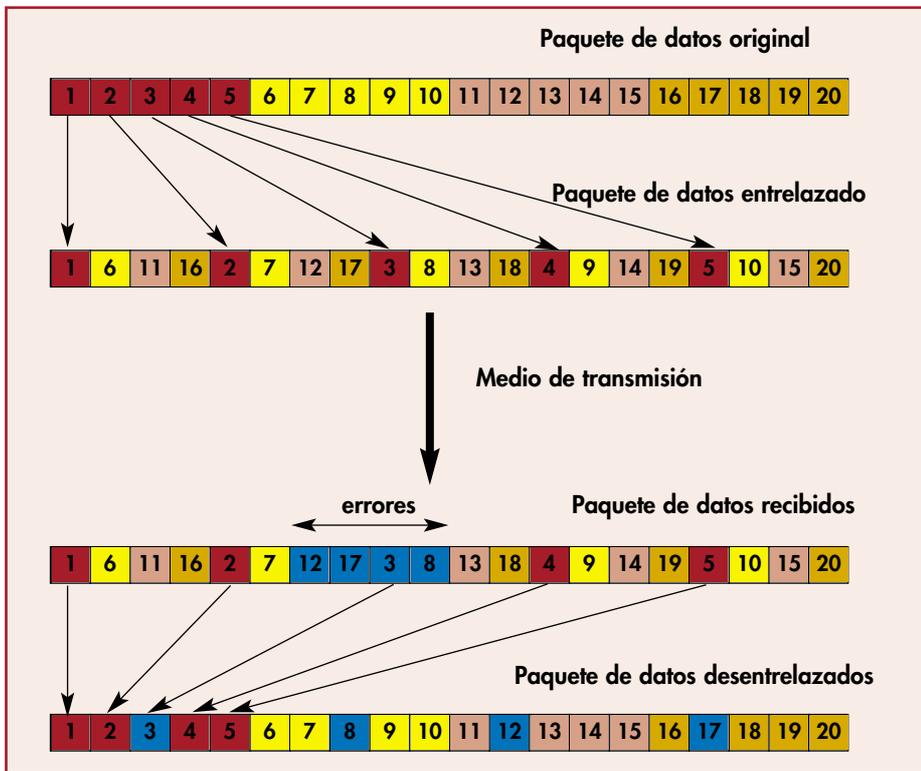


Figura 5 Ejemplo de entrelazado

ción es dificultosa cuando el intervalo en que se producen los errores es de larga duración. La solución es el entrelazado en el tiempo de los datos en la transmisión y su reordenación en la recepción. La figura 3 muestra un ejemplo de entre-

lazado temporal de datos en transmisión y su posterior reordenación en el receptor. Como podemos observar, los bit erróneos una vez efectuado el desentrelazado de la trama se distribuyen a la largo de la misma, por lo que es fácil su corrección.

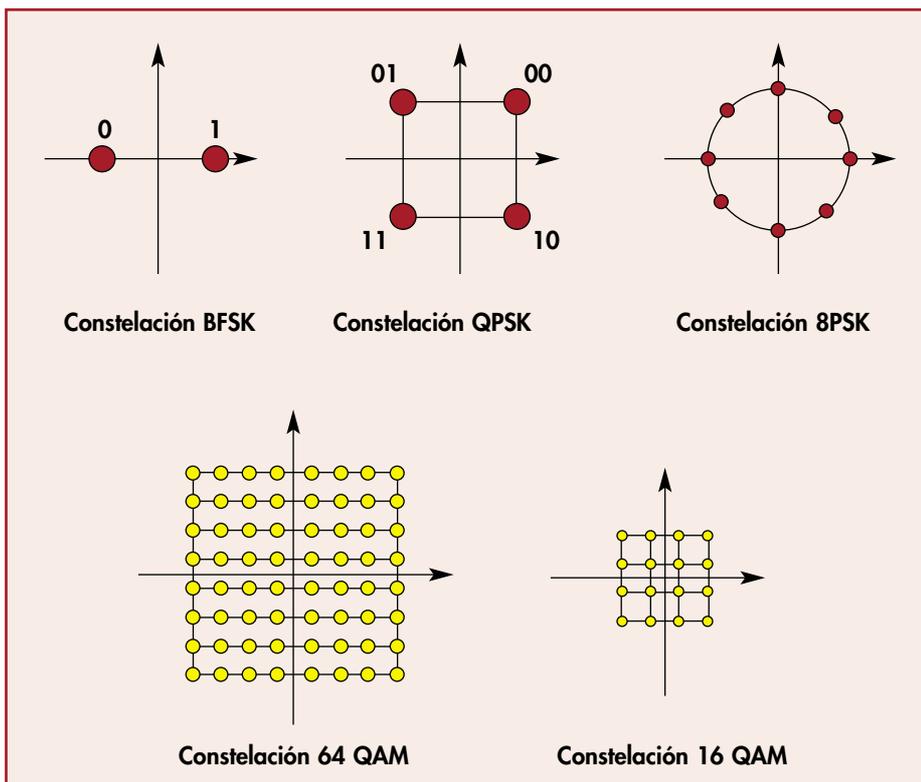


Figura 6

Algunos efectos de propagación son susceptibles de causar determinados problemas: los desvanecimientos selectivos pueden afectar a grupos de portadoras próximas en frecuencia.

Para dispersar los errores producidos por desvanecimientos selectivos en frecuencia y de esta forma poder corregirlos en recepción se utilizan técnicas de **entrelazado en frecuencia**.

Implementación de la señal OFMD

Para la transmisión de aquellos datos que son más críticos como son los de sincronismo y control del proceso de decodificación se utilizan técnicas de modulación que garantizan una alta robustez (esquemas BPSK). Para los datos menos relevantes se utilizan técnicas de modulación más eficientes (y menos robustas) como son los esquemas 64 QAM.

La robustez significa poder decodificar adecuadamente los datos transmitidos en condiciones de alto porcentaje de errores. Mayor eficiencia permite transmitir mayor cantidad de datos en el mismo ancho de banda.

Las portadoras digitales (OFDM) se extienden aproximadamente $\pm 14,5$ kHz alrededor de la portadora principal. Cada dato modula un par de portadoras igualmente espaciadas respecto a la portadora AM, por lo que la información que se transmite es redundante.

Cada par de portadoras digitales se denomina par complementario y todo el grupo de portadoras se denomina portadoras complementarias.

Las portadoras digitales situadas por debajo de la portadora analógica son moduladas para evitar la interferencia con la señal analógica. Para cada par, la modulación aplicada a una subportadora es la conjugada negativa de la modulación aplicada a la otra subportadora. Esto sitúa la suma de las subportadoras en cuadratura con la portadora MA, minimizando así la interferencia a la señal analógica cuando se utiliza un detector de envolvente. De igual forma, al estar las subportadoras complementarias en cuadratura con la señal analógica se facilita la demodulación de las subportadoras com-

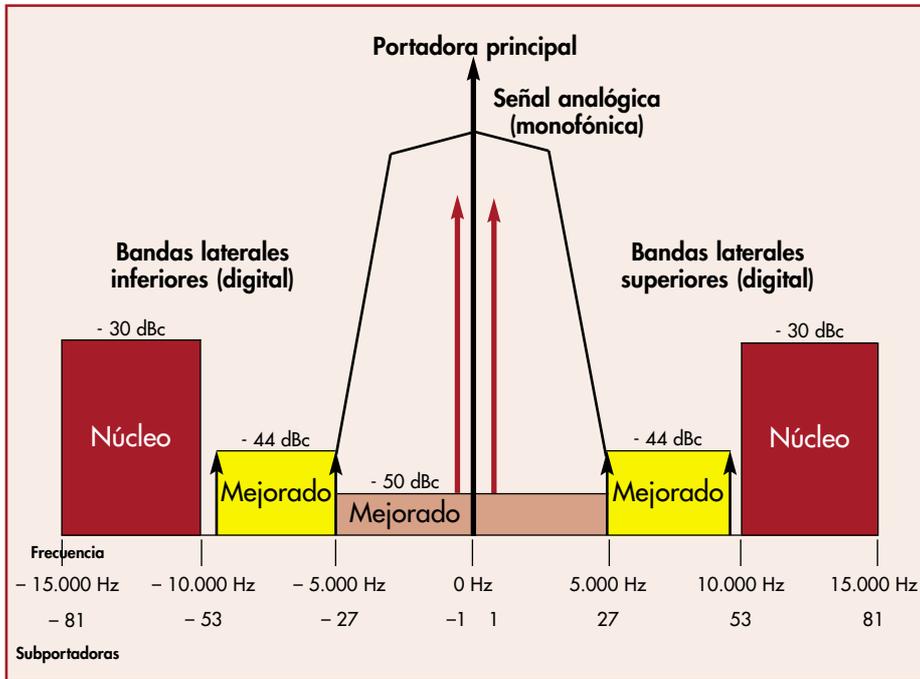


Figura 7 Espectro del sistema IBOC DBS híbrido

plementarias en presencia de la portadora AM y de la señal analógica.

Modo híbrido OFDM

En el modo híbrido, el ancho de banda de audio que modula la señal analógica está limitado a ± 5 kHz y no es posible la operación en modo estéreo.

La información digital está contenida en 162 subportadoras, igualmente espaciadas dentro del ancho de banda del canal: las numeradas como -81 a la -1 se

encuentran ubicadas por debajo de la frecuencia central y las numeradas como 1 a la 81 por encima de la portadora central. Las portadoras se encuentran espaciadas aproximadamente 182 Hz.

Las subportadoras están agrupadas en 6 conjuntos. Cada conjunto ocupa un ancho de banda de 4,3 kHz. Ver figura 7.

Los conjuntos del codec núcleo comprenden 25 subportadoras cada uno, situados aproximadamente entre 10 kHz y 15 kHz a ambos lados de la portadora principal. Las subportadoras son moduladas utilizando esquemas 64 QAM.

Los conjuntos del codec mejorado comprenden 25 subportadoras cada uno, situados aproximadamente entre 5 kHz y 10 kHz a ambos lados de la portadora principal y 25 subportadoras, situadas entre 0 y 5 kHz a cada lado de la portadora principal.

Las subportadoras situadas entre 5 y 10 kHz a ambos lados de la portadora principal son moduladas utilizando esquemas 16 QAM.

Las subportadoras situadas entre 0 y 5 kHz a ambos lados de la portadora principal son moduladas utilizando esquemas QPSK.

La figura 6 muestra los esquemas de modulación QPSK, 16 QAM y 64 QAM.

Para minimizar las interferencias con el canal analógico y con los canales adyacentes la potencia de las subportadoras se ajusta a los niveles relativos (respecto a la portadora AM) mostrados en la figura 7.

Como complemento a las subportadoras descritas anteriormente se añaden otras 6, cuya función y esquema de modulación es:

- **Dos subportadoras espaciadas 182 Hz** alrededor de la portadora principal, transmite los datos del estado y control. El esquema de modulación utilizado es QPSK y su potencia se sitúa a 26 dB con respecto a la portadora principal.

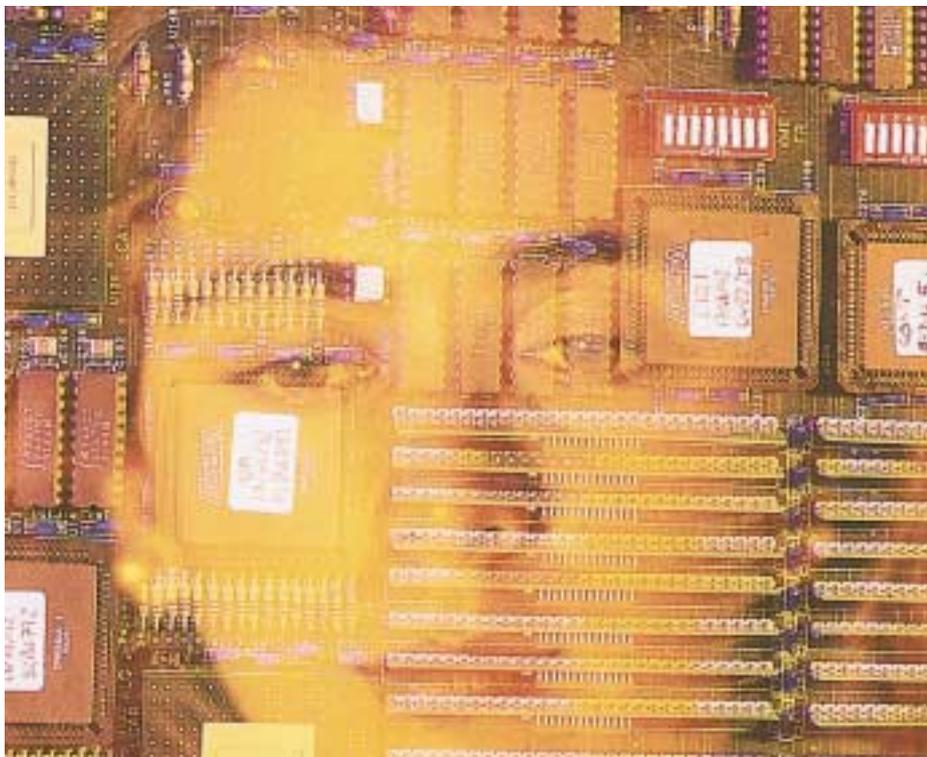
- **Cuatro subportadoras (IDS) situadas aproximadamente a 5 kHz y 10 kHz** a ambos lados de la portadora principal y se utilizan para la transmisión de datos a baja velocidad. El esquema de modulación es 16 QAM y su potencia se sitúa a 43 dB por debajo de la portadora principal.

Las portadoras 54 a 56 y -54 a -56 no se transmiten para evitar interferencias con canales adyacentes.

Modo totalmente digital

En el modo totalmente digital, la información analógica es reemplazada por subportadoras digitales de mayor potencia. La portadora principal no está modulada y es transmitida como señal de referencia. Por tanto, no es necesario transmitir las subportadoras complementarias de los conjuntos asociados al codec mejorado porque la cuadratura no es necesaria.





Las subportadoras están agrupadas en 4 conjuntos. Cada conjunto ocupa un ancho de banda de 4,3 kHz. Ver figura 8.

Los conjuntos de núcleo comprenden 25 subportadoras cada uno, situados aproximadamente entre 0 kHz y 5 kHz a ambos lados de la portadora principal. Las subportadoras son moduladas utilizando esquemas 64 QAM.

Los conjuntos de mejorado comprenden 25 subportadoras cada uno, situados aproximadamente entre 5 kHz y 10 kHz a ambos lados de la portadora principal.

Como complemento a las subportadoras descritas anteriormente se añaden

otras 6 cuya función y esquema de modulación es:

- **Dos subportadoras espaciadas 182 Hz** alrededor de la portadora principal transmiten los datos del estado y control. El esquema de modulación utilizado es QPSK y su potencia se sitúa a 15 dB con respecto a la portadora principal.

- **Cuatro subportadoras (IDS) situadas aproximadamente a 5 kHz y 10 kHz** a ambos lados de la portadora principal y se utilizan para la transmisión de datos a baja velocidad. El esquema de modulación es 16 QAM y su potencia se sitúa a 30 dB por debajo de la portadora principal.

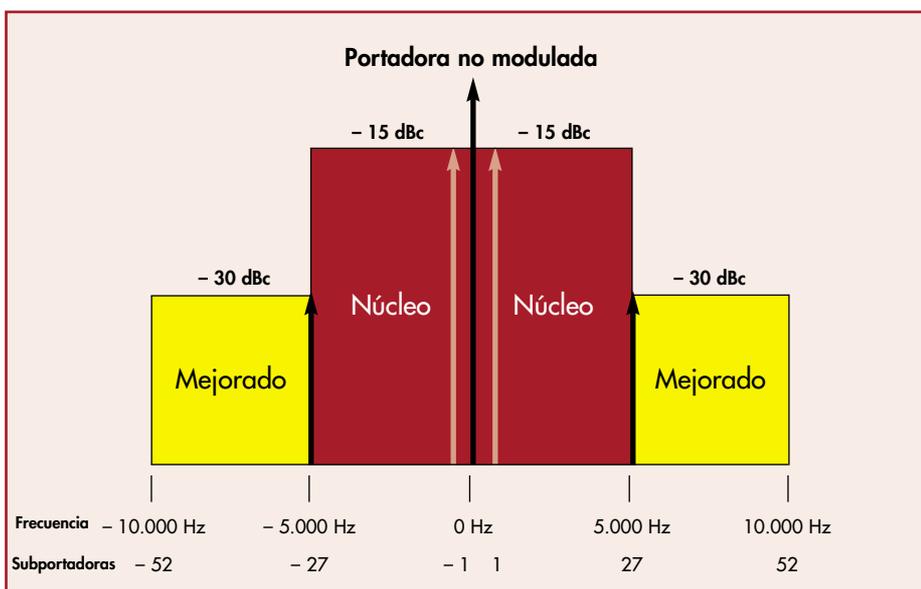


Figura 8 Espectro del sistema IBOC DBS totalmente digital

La potencia de las subportadoras referida a la portadora principal se muestra en la figura 8.

CONCLUSIONES

El sistema IBOC AM está demostrando ser uno de los sistemas idóneos para la migración de las estaciones de radiodifusión sonora que trabajan por debajo de los 30 MHz a un sistema digital, en aquellas regiones de la UIT que utilizan canalización para la OM con anchura de banda de 20 kHz (onda media estereofónica).

La utilización de algoritmos de compresión eficaces permite que con este sistema y utilizando el mismo ancho de banda asignado a las estaciones analógicas se obtenga una calidad de audio similar a las actuales estaciones de frecuencia modulada estereofónicas.

Durante el tiempo de transición se transmiten señales analógicas y digitales en el mismo canal, permitiendo la recepción del programa tanto para los actuales receptores analógicos de modulación de amplitud como los modernos digitales. Los modernos receptores digitales dispondrán de facilidades que permitan que la señal analógica sirva de respaldo de la señal digital cuando el porcentaje de bits erróneos sean elevados.

Las modernas técnicas de modulación (OFDM) y los sistemas de entrelazado mejoran sustancialmente la recepción en situaciones de ruido, desvanecimientos y propagación multitrajecto.

REFERENCIAS

- [1] IBOC AM Digital Radio System. Jerry C. Whittaker.
- [2] In - Band / On - Channel Digital Radio Broadcasting Standard NRSC - 5 April, 2005. National Radio Systems Committee.
- [3] Test results of iBiquity Digital's In - Band On - Channel (IBOC) Technology for Digital Audio Broadcasting. S. Stull. iBiquity Digital Corporation.
- [4] Recomendación UIT - R BS. 1514.
- [5] Further notice of proposed rulemaking and notice of inquiry. Federal Communication Comisión.
- [6] Bitstream Description for the Perceptual Audio Coder (PAC). Deepen Sinha. Lucent Technologies.
- [7] Evaluation of the iBiquity Digital Corporation IBOC System. Part 1 - AM IBOC. Nacional Radio Systems Comité.