

1. Sistemas de Radiodifusión Sonora Digital

Desde la década de los 80 se materializan grandes avances en el área de las telecomunicaciones. La digitalización de las redes y de los contenidos representa un campo en donde surgen avances innovadores, con mejoras significativas frente a las tecnologías precedentes que se reflejan en calidad en el tratamiento de la información, nuevos y mejores servicios, sumado a los conceptos actuales de globalización [2].

La radiodifusión sonora no escapa a estas transformaciones, y es así como en Europa se da inicio a la conceptualización y estudio de un estándar que permita la introducción de las ventajas digitales en la radio; el proyecto Eureka 147 se concreta a través de una evolución permanente liderada por la industria privada con el apoyo de estados europeos. Así mismo, la industria norteamericana no quiere quedarse atrás, y responde con la introducción de su propio modelo que recibe el nombre de IBOC.[2]

Por otra parte, los japoneses desarrollan un sistema que integra la radiodifusión sonora y la televisión, al que han llamado ISDB.

A continuación, se presentan los cuatro estándares tecnológicos identificados hasta el momento, dentro de los cuales se incluyen el estándar Eureka 147- DAB, el Digital Radio Mondiale DRM, el estándar americano IBOC y el japonés ISDB-TSB [2].

1.1. Sistema Digital Audio Broadcasting (DAB) Eureka 147

1.1.1. Descripción General

DAB, son las siglas de Digital Audio Broadcasting (Radiodifusión de Audio Digital). También se le conoce con el nombre de sistema Eureka 147, pues fue este consorcio el encargado de desarrollar el estándar en 1987. Podemos considerar este sistema como el avance más importante en la tecnología de radio desde la introducción de la radio FM estéreo.

Es capaz de proporcionar de manera eficiente radiodifusión digital multiservicio de gran calidad, para receptores móviles, portátiles y fijos usando únicamente una antena no direccional. Puede funcionar en cualquier frecuencia entre 30 MHz y 3 GHz para receptores móviles (más alta para la fija) y puede usarse en redes terrestres, por satélite, híbridas (satélite con complemento terrestre) y de difusión por cable.

El sistema DAB está pensado para utilizarse de una manera flexible. Permite acomodar diferentes velocidades de transmisión y multiplexar digitalmente

muchos tipos de fuentes y canales con diferentes opciones de codificación de los programas, de los datos asociados a éstos y de servicios de datos adicionales.

De manera análoga a cuando entramos en un multi-cine donde se exhiben varias películas y elegimos una de ellas, podemos *entrar* en un múltiplex DAB y seleccionar varios programas de audio o servicios de datos, pues el sistema permite multiplexarlos para formar un bloque de 1.5 Mbit/s y ser emitidos juntos, obteniéndose la misma área de servicio para todos.

Las principales ventajas que ofrece DAB sobre la radiodifusión tradicional son las siguientes: [3]

- **Eficiencia en la utilización del espectro y la potencia.** Se consigue intercalando señales de varios programas junto a una especial característica de rehuso de frecuencia (Single Frequency Network, SFN) que permite a las redes de difusión extenderse, virtualmente sin límite, gracias a transmisores adicionales que llevan a cabo la misma multiplexación en la misma frecuencia. Utiliza un único bloque para una red internacional, nacional, regional o local con transmisores de baja potencia. [3]
- **Mejoras en la recepción.** La información transmitida se reparte tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia de manera que los efectos de la distorsión del canal y la atenuación puedan ser eliminados de la señal recibida en el receptor, incluso cuando trabaja en condiciones de fuerte propagación multitrayecto (debida a la reflexión en edificios y montañas). Para lograrlo, se codifican y se multiplexan las señales en OFDM (Orthogonal Frequency División Multiplexing), distribuyendo la información entre un elevado número de frecuencias. Para proteger la señal de errores de transmisión el sistema se vale de 2 técnicas llamadas UEP y EEP (Unequal/Equal Error Protection). La primera es la preferible, pues ofrece más protección para los datos más críticos. [3]
- **Calidad de sonido.** Podemos llegar alcanzar una calidad equivalente a la de un CD gracias al layer II del estándar MPEG Audio (también conocido como *MUSICAM*). Este sistema aprovecha el efecto de enmascaramiento que se produce debido a las características psicoacústicas del oído humano, ya que éste no es capaz de percibir todos los sonidos presentes en un momento dado, y por tanto no es necesario transmitir los sonidos que no son audibles. De esta forma eliminamos la información redundante. Típicamente el múltiplex contiene 6 programas de audio estéreo de gran calidad

(192 kbps) usando el estándar MPEG-1 Audio, además de servicios adicionales. [3]

- **Flexibilidad.** Los servicios pueden estructurarse y configurarse dinámicamente. Por ejemplo, una emisora de radio durante un programa donde se debate o dialoga puede emitir usando una velocidad baja (con 64 o 96 kbps es suficiente), ocupando un ancho de banda pequeño, mientras que a otras horas puede emitir audio estéreo con velocidades mayores (128 o 192 kbps) y por lo tanto con más ancho de banda. [3]
- **Servicios de datos.** Junto a la señal de audio se transmiten otras informaciones: [3]
 - *Canal de información.* Transporta la configuración del múltiplex, información de los servicios, fecha y hora, información del tráfico, avisos de emergencia, etc.
 - *Datos asociados al programa (PAD).* Se dedican a la información directamente relacionada con los programas de audio: títulos musicales, autor, texto de las canciones en varios idiomas. La capacidad del PAD es ajustable (mínimo de 667 bit/s con MPEG-1 o 333 bit/s con MPEG-2). [3]
 - *Servicios adicionales.* Son servicios que van dirigidos a un grupo reducido de usuarios, como por ejemplo: cancelación de tarjetas de crédito robadas, envío de imágenes y textos a tableros de anuncios electrónicos, etc. Todos estos datos se reciben a través de una pantalla incorporada al receptor. [3]

Por ejemplo el envío de imágenes y textos a tableros de anuncios electrónicos, incluso vídeo. Puede ofrecer Acceso Condicional (CA) para servicios de pago aunque la administración específica del suscriptor no forma parte del estándar DAB. [3]

- **Coberturas.** La cobertura puede ser local, regional nacional y supranacional. El sistema es capaz de añadir constructivamente las señales procedentes de diferentes transmisores en el mismo canal, lo que permite establecer redes de frecuencia única para cubrir un área geográfica determinada en la que es posible utilizar pequeños transmisores para cubrir las zonas de sombra dejadas por aquellos.[3]

1.2. Sistema In-Band On-Channel (IBOC)

La organización normalizadora NRSC (National Radio Systems Comité) patrocinada por la National Association of Broadcasters y la Consumer Electronics Association, adopta a HD Radio en la norma denominada NRSC-5. Estándar también conocido como IBOC (In-Band On-Channel) el cual fue desarrollado por la iBiquity Digital Corporation y propone para la radiodifusión digital, la reutilización de las bandas de AM y FM actualmente en uso analógico, lo que evitaría una migración a otra banda de frecuencias, además permitiría que las transmisiones se hagan de manera simultánea, es decir en forma analógica y digital, por lo que se ha denominado transmisión híbrida.

La tecnología HD Radio fue aprobada por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) en octubre de 2002 como sistema digital de los Estados Unidos. La implementación en FM se encuentra en la Recomendación UIT-R BS.1114 y la implementación en AM en la Recomendación UIT-R BS. 1514. Sin embargo, algunos aspectos técnicos quedan aún pendientes, especialmente en la compresión del audio.

HD Radio funciona tecnológicamente de manera muy similar a la transmisión de radio analógica, sin embargo, permite a los radiodifusores transmitir programas tanto en el formato analógico como en el digital, junto a una señal para datos de texto. El sistema inserta portadoras digitales en cualquiera de los dos lados de la señal analógica y emplea técnicas de codificación que evitan la interferencia entre las señales analógicas y digitales.

1.2.1. AM-IBOC [4]

El diseño del sistema IBOC se hizo pensando en que debía proporcionar un medio flexible de transición entre el sistema puramente digital y el analógico, por eso puede trabajar en dos modos distintos a cada uno de los cuales se asocia una forma de onda: Híbrida y totalmente digital. A diferencia de lo que ocurre en la forma de onda totalmente digital, en la forma de onda híbrida se conserva la señal analógica de AM llamada host que, por otra parte, debe ser de tipo monofónico, pues en el modo híbrido no se soporta una señal de tipo estéreo. La señal digital es modulada usando la multiplexión por división en frecuencia ortogonal (OFDM). OFDM es un esquema de modulación paralelo en el cual la secuencia de datos modula un gran número de sub-portadoras ortogonales que se transmiten simultáneamente. OFDM es muy flexible y permite el fácil mapeo de los canales lógicos en diferentes grupos de sub-portadoras.

El espectro de las señales se divide en bandas laterales, que representan agrupaciones de sub-portadoras. En secciones posteriores se presentan dichos espectros.

1.2.1.1. Capas AM-IBOC[4]

El funcionamiento de este sistema está organizado en función del modelo de capas del ISO OSI como sigue:

- **Capa 5** (Aplicación). Presenta el contenido al usuario
- **Capa 4** (Codificación). Codificación de fuente de contenido específico (PAC, HTML) así como identificación de la estación y capacidades de control.
- **Capa 3** (Transporte). Uno o más protocolos de aplicación específica adaptados para proporcionar transferencia de los datos de capa 4 de forma robusta y eficiente.
- **Capa 2** (Multiplexor de Servicios). Detección de errores limitada, direccionamiento, multiplexión de capa 3 a canales lógicos.
- **Capa 1** (Física). Modulación, framing y procesamiento de señales (codificación e interleaving) al grado de servicio especificado.

La capa 1 del sistema convierte la información y control del sistema de capa 2 en una forma de onda AM-IBOC para su transmisión. La información y control es transportada en unidades de datos de servicio de capa 1 (L1-SDU) en canales lógicos a través de algún punto de acceso al servicio de capa 1 (L1-SAP).

Los L1-SDU varían en tamaño y formato dependiendo del modo de servicio, mismo que determina las características de transmisión de cada canal lógico; el modo de servicio es determinado, a su vez, por protocolos de capas superiores, en función de los requerimientos de la aplicación. Esto refleja la flexibilidad del sistema, que soporta envíos simultáneos de audio digital y datos, cumpliendo con los requerimientos de ambos servicios.

Para asegurar una buena sincronización y una rápida adquisición de estación, cada estación es sincronizada con GPS. Esto se logra mediante la sincronización con una señal sincronizada en tiempo y frecuencia con GPS.

1.2.2. Modo Híbrido [4]

En la forma de onda híbrida, la señal digital es transmitida en bandas laterales primarias y secundarias a cada lado de la señal analógica host,

así como debajo de las señales analógicas host en bandas laterales terciarias como se muestra en la siguiente figura 2.2.

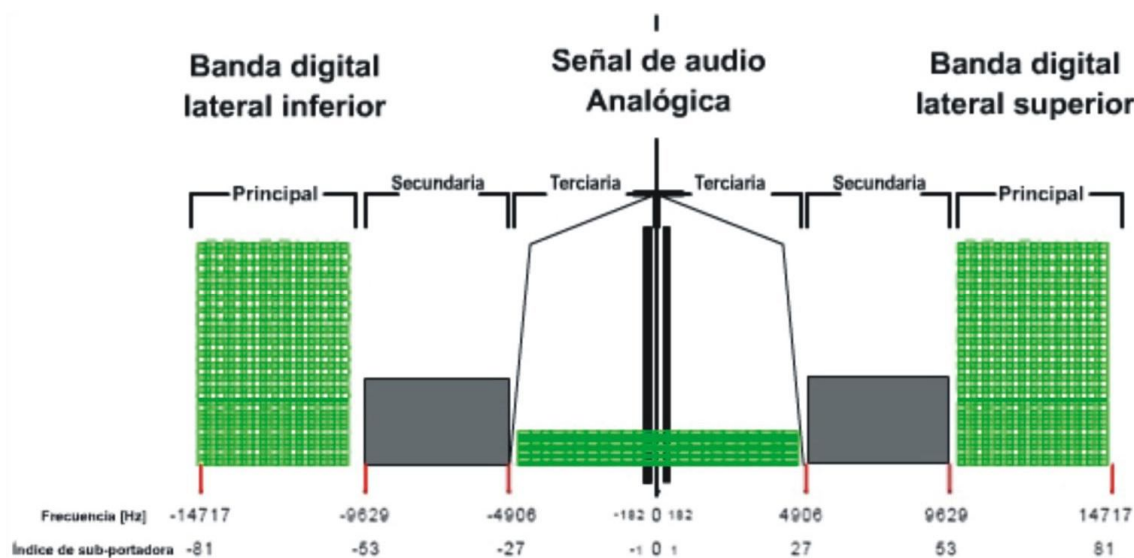


Fig. 2.2. Espectro de la forma de onda híbrida AM-IBOC.

Adicionalmente, información de control y estado se transmite en sub-portadoras de referencia localizadas a cada lado de la portadora principal. Cada banda lateral tiene componentes superiores e inferiores. El canal lógico PIDS (ver sub-capítulo de canales del sistema) se transmite en portadoras individuales justo arriba y debajo de las frecuencias límite de las bandas laterales secundarias superiores e inferiores.

La potencia total de todas las bandas laterales digitales es menor al valor de potencia de la parte de la señal AM analógica. El nivel de cada sub-portadora OFDM, dentro de una banda lateral primaria o secundaria dada, es establecido en un valor constante y, por razones de interferencia, no todas las bandas poseen el mismo nivel de potencia, mismo que se establece con relación a la potencia de la señal analógica. Además, hay dos portadoras de referencia para el control del sistema cuyos niveles están establecidos en un valor que es diferente al de las otras bandas laterales. La información de estado y control es transmitida en sub-portadoras de referencia localizadas a cualquier lado de la portadora principal. La tabla 2.1 muestra las características espectrales de la forma de onda híbrida.

Las sub-portadoras individuales son numeradas de -81 a 81, la sub-portadora central tiene el número 0. Las sub-portadoras 54 a 56 y -54 a -56

no están representadas, debido a que no son transmitidas para evitar la interferencia por señales adyacentes primarias.

1.2.3. Modo Solo-Digital [4]

Las verdaderas ventajas de este sistema se aprecian solo con la forma de onda totalmente digital. En ésta, la señal analógica es reemplazada con las bandas laterales primarias cuya potencia se incrementa con respecto a los niveles en la forma de onda híbrida. El resultado final es una señal digital de alta potencia con una reducción total del ancho de banda. Estos cambios proveen una señal digital más robusta que es menos susceptible a la interferencia de canales adyacentes.

La portadora AM sin modular es conservada. Además, la banda lateral superior secundaria se mueve a frecuencias más altas arriba de la banda lateral superior primaria y la banda lateral inferior terciaria se mueve a frecuencias más bajas debajo de la banda lateral inferior primaria, la potencia de estas dos bandas se incrementa también. La banda lateral inferior secundaria y la superior terciaria ya no se usan. Las sub-portadoras de referencia están localizadas a cualquier lado de la portadora AM no modulada como en la forma de onda híbrida, pero a niveles más altos. El espectro de la onda totalmente digital se muestra en la figura 2.3.

Tabla 2.1. Características de la forma de onda híbrida AM-IBOC

Banda Lateral	Rango de Sub-portadoras	Frecuencias de Sub-portadoras [Hz] desde la frecuencia central
Primaria Superior	57 a 81	10356.1 a 14716.6
Primaria Inferior	-57 a -81	-10356.1 a -14716.6
Secundaria Superior	28 a 52	5087.2 a 9447.7
Secundaria Inferior	-28 a -52	-5087.2 a -9447.7
Terciaria Superior	2 a 26	363.4 a 4723.8
Terciaria Inferior	-2 a -26	-363.4 a -4723.8
Referencia Superior	1	181.7
Referencia Inferior	-1	-181.7
IDS1(portadoras de referencia)	27 y -27	4905.5 y -4905.5
IDS2(portadoras de referencia)	53 y -53	9629.4 y -9629.4

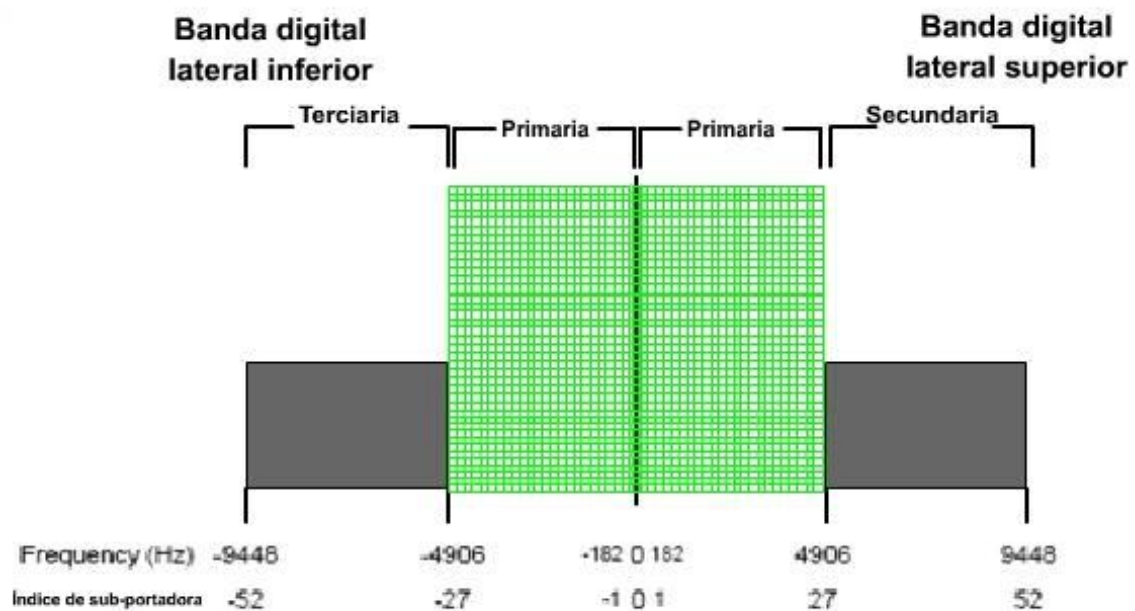


Fig. 2.3. Espectro de la señal solo-digital AM-IBOC

El nivel de potencia de cada sub-portadora OFDM dentro de la banda lateral es fijado en relación a la portadora analógica principal no modulada. La tabla 2.2 muestra las características espectrales de la forma de onda totalmente digital.

Tabla 2.2 – Características de la forma de onda totalmente Digital

Banda Lateral	Rango de Sub-portadoras	Frecuencias de Sub-portadoras [Hz] desde la frecuencia central
Primaria Superior	2 a 26	363.4 a 4723.8
Primaria Inferior	-2 a -26	-363.4 a -4723.8
Secundaria	28 a 52	5087.2 a 9447.7
Terciaria	-28 a -52	-5087.2 a -9447.7
Referencia Superior	1	181.7
Referencia Inferior	-1	-181.7
IDS1 (portadoras de referencia)	27	4905.5
IDS2 (portadoras de referencia)	-27	-4905.5

1.2.4. Canales Definidos en el Sistema

El funcionamiento de IBOC, es decir, el transporte de la información para el usuario y la dedicada al desempeño del sistema, se hace por medio de canales que se configuran de acuerdo al modo de servicio y los requerimientos de la aplicación. A continuación se describen estos canales.

Canal de Control del Sistema. A través del canal de control del sistema (SCCH) se efectúa el control del modo de servicio (PSM), ancho de banda de audio analógico (AAB) y niveles de potencia (PL), estos datos se envían de la capa 2 a la 1, por otro lado, a través de este canal también es enviada la información para la sincronización de capa 1 a 2. Cuatro modos de servicio determinan todas las configuraciones permisibles de los canales lógicos. Estos son:

- a) Servicio híbrido modo MA1
- b) Servicio híbrido modo MA2
- c) Servicio digital modo MA3
- d) Servicio digital modo MA4

Canales Lógicos. Un canal lógico es un recorrido de la señal que conduce L1-SDU en tramas de transferencia dentro y fuera de la capa 1 con un grado específico de servicio, determinado por el modo de servicio. Hay cuatro canales lógicos para protocolos de capas superiores: P1 (canal lógico principal 1), P2, P3, y PIDS (Canal lógico de servicio de datos IBOC primario). Los P1, P2 y P3 son utilizados para propósitos generales de transferencia de audio y datos, mientras que el canal PIDS está diseñado para llevar la información de los servicios de datos IBOC (IDS) y es transmitido en sub-portadoras individuales justo arriba y debajo de las frecuencias límite de la banda lateral secundaria superior e inferior.

Los canales lógicos P1 y P2 están diseñados para ser más robustos que el canal P3. Los canales lógicos P1 y P3 están disponibles para todos los modos de servicios, mientras que P2 está disponible solo para modos de servicio específicos. Esto permite una transferencia de información adaptable para manejar un gran número de aplicaciones.

En la tabla 2.3 se ilustra lo anterior, además podemos observar que los modos MA2 y MA4 proveen un tráfico más alto que los modos MA1 y MA3.

Tabla 2.3 – Canales lógicos disponibles en cada modo y tasa de información

Modo de Servicio	Tasa aproximada de información por canal [kbps]				Forma de Onda
	P1	P2	P3	PIDS	
MA1	20	0	16	0.4	Híbrida
MA2	20	20	16	0.4	Híbrida
MA3	20	0	20	0.4	Solo Digital
MA4	20	20	20	0.4	Solo Digital

El rendimiento de cada canal lógico se describe completamente a través de tres parámetros de caracterización: transferencia, latencia (Es el tiempo o lapso necesario para que un paquete de información se transfiera de un lugar a otro) y robustez; el modo de servicio configura estos componentes para cada canal lógico activo.

1.3. Digital Radio Mondiale

El consorcio DRM desarrolló este sistema con el objetivo de establecer un estándar digital para la radiodifusión en las bandas de AM, onda larga, onda media y onda corta. Inicialmente operaba a frecuencias por debajo de los 30 MHz, actualmente se ha ampliado hasta los 120 MHz. Por lo que reutilizar las actuales bandas de frecuencias destinadas hoy en día a la AM permitirá un empleo más eficiente del espectro. Debe considerarse también que DRM es un sistema universal, dado que no ha sido elaborado por alguna industria en particular.

Sus especificaciones han sido normalizadas por varias organizaciones especializadas, fue aprobado por la UIT en el 2003 y el 16 de junio de ese mismo año se iniciaron las primeras emisiones regulares de DRM, sus especificaciones se encuentran en los estándares: BS.1514-1 (10/02) UIT-R, "Sistema para la radiodifusión digital terrenal en las bandas por debajo de 30 MHz" y en BS.1615 (06/03) ITU-R, "Parámetros de planificación para sistemas de radiodifusión digital terrenal por debajo de 30 MHz".

Por su parte la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) desde 2003 describe a DRM en su estándar IEC 62272-1 (01/03), DRM Especificación del sistema, y el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicación (ETSI) en septiembre de 2001 lo especifica en la norma ES 201 980 v2.1.1 (2003-12). Estas normas son idénticas en cuanto a su contenido. La norma de ETSI es aplicable a Europa mientras que la norma de IEC es aplicable en el mundo entero. [5]

Este sistema ofrece una calidad de sonido cercana a la de FM, funciona para receptores estáticos y portátiles, además, puede distribuir datos y texto simultáneamente. Este sistema de radiodifusión sonora digital, como IBOC, utiliza OFDM para la transmisión de sus señales, el número de sub-portadoras utilizadas varía de acuerdo al ancho de banda del que se dispone y, para un uso más eficiente de dicho ancho de banda, puede utilizar uno de tres distintos codificadores de audio.

Debe mencionarse además que no todas las sub-portadoras transmiten datos pues algunas se utilizan como sub-portadoras piloto o de referencia.

Los datos que se van a transmitir se esparcen en estas sub-portadoras y dichas subportadoras se modulan con modulación en cuadratura. Vistos en el dominio de la frecuencia, los espectros de estas sub-portadoras aparecen encimados, sin embargo, gracias al principio de ortogonalidad, una vez que las sub-portadoras se sincronizan en el receptor, no se superponen entre sí y cada una puede ser demodulada por separado.

DRM puede trabajar bajo uno de cuatro posibles modos de funcionamiento: A, B, C o D [6]. La robustez de la señal aumenta progresivamente con los modos de funcionamiento haciendo menos propensa a desvanecimientos y desvío de frecuencia por Doppler, de manera inversa, la tasa de transferencia disminuye al contar la señal con una mejor protección contra errores. Para cada modo de operación, esta protección contra errores tiene distintos niveles, y con el aumento de nivel se disminuyen las tasas de transferencia de los modos. Sin embargo, cuando existen procedimientos reglamentarios para utilizar canales de mayor anchura que 9 o 10 [kHz], la calidad de audio del sistema y su capacidad se mejoran de manera considerable [7].

Con la modulación en cuadratura, la lectura de la amplitud de una sub-portadora particular no significa nada, pues puede haber desvanecimiento selectivo en la señal. Para determinar la lectura correcta, el software decodificador revisa la amplitud de la sub-portadora piloto más cercana a cada lado de la sub-portadora de datos. Por interpolación con las amplitudes conocidas de las sub-portadoras piloto transmitidas, se estima la respuesta del canal y se utiliza como un punto de referencia para corregir todas las amplitudes de las sub-portadoras de datos. De esta forma se simplifica la decodificación DRM, pues los efectos del desvanecimiento selectivo en la propagación puede medirse utilizando estas subportadoras piloto, además, al hacer la estimación del canal se habilita la demodulación coherente de OFDM [6].

En el modo de operación A de DRM se pueden transportar más datos que en el modo B: el modo A es utilizado principalmente para la onda media y propagación terrestre de la onda, en donde las características del desvanecimiento del canal son mejores que para la onda corta; de esta forma para el modo A es posible asignar más sub-portadoras de datos que de referencia, a diferencia del modo B. La figura 2.6 ilustra de manera general el sistema.

El multiplexor MSC (Main Service Channel) de DRM se compone de uno a cuatro canales de audio o datos, también hay dos canales descriptivos llamados canales de acceso rápido (FAC) y existe aún otro canal llamado canal de descripción del servicio (SDC). Todos estos canales se codifican y

posteriormente se les aplica la modulación OFDM con modulación en cuadratura. El sistema emplea principalmente la codificación de audio avanzado (AAC, Advanced Audio Coding) complementado con la replicación de banda espectral (SBR, Spectral Band Replication), que mejora la calidad de audio, con base en el contenido espectral de menor orden [7].

En el receptor, cualquier deterioro de la señal DRM, como desvanecimiento o interferencia debidos a la propagación, no es tan evidente como en el caso del AM, esto a causa del software decodificador DRM que recibe suficiente información correcta para ser capaz de reconstruir el audio o los datos como fueron originalmente codificados en el transmisor [6].

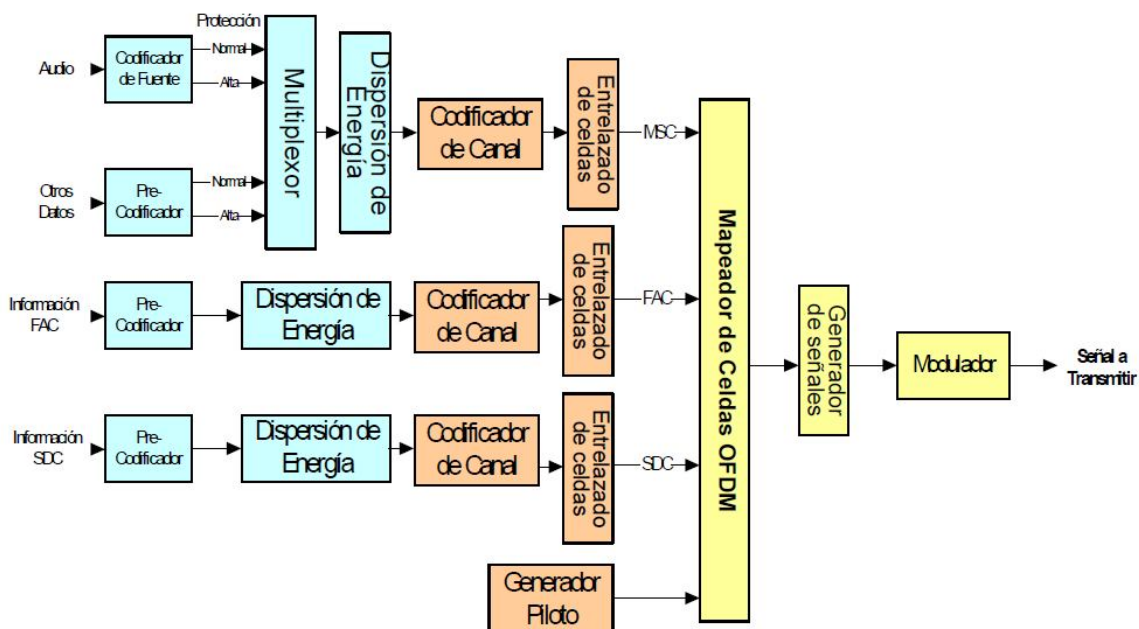


Figura 2.6. Diagrama de bloques del Sistema DRM [6]

Como para cualquier otro sistema de radiodifusión digital, DRM comprende distintas etapas de transmisión:

- Codificación de la fuente, etapa donde se realiza la conversión de la señal de audio analógica a digital, esto se logra normalmente con una reducción de la velocidad binaria, y la multiplexación del audio codificado con otras señales de datos que conforman la señal que se va a transmitir.
- Codificación del canal, etapa que permite incrementar la robustez de los datos multiplexados y adaptarlos al medio de transmisión.

- Los datos codificados se convierten en una señal de radiofrecuencia para su transmisión.

1.3.1. Codificador y Características de la Señal

El consorcio DRM estableció una codificación de audio eficaz que permite una buena calidad de audio, debido a que en AM el espectro utilizable es angosto (9 o 10 KHz), es necesario comprimir la señal, para ello se emplea la norma de compresión MPEG-4 permite conseguir una calidad sonora muy buena, incluso a una baja velocidad binaria de 36 kbps para uso de voz y música. El radiodifusor puede escoger el modo que desee de acuerdo a sus necesidades, el más usado es el AAC + SBR. Sin embargo, puede elegir de entre tres opciones de codificación de la fuente que el sistema DRM ofrece:

- MPEG-4 AAC (Advanced Audio Coding): Brinda la mejor calidad, ya que permite hasta 72 kbps para radiodifusión estéreo o dos canales de 36 kbps para radiodifusión en mono; con protección frente a errores y destinado a la transmisión de voz y música.
- MPEG-4 CELP (Code Excited Linear Prediction): Otorga una muy buena calidad para transmitir voz, ya que permite entre 4 y 20 kbps, para transmitir sólo voz o para radiodifusión en mono, se emplea cuando se requiere baja velocidad binaria o alta protección frente a errores.
- MPEG-4 HVXC (Harmonic Vector eXcitation Coding): Puede ser usado para difundir un programa de voz a muy baja velocidad de transmisión, ya que permite entre 2 y 4 kbps, para transmitir sólo voz y para cuando se requiere muy baja velocidad binaria y protección frente a errores.

Para mejorar la calidad de sonido percibida puede emplearse un método para la reconstrucción de las bandas altas llamado SBR (Spectral Band Replication) para cualquiera de las opciones anteriores, el cual utiliza de forma dinámica el contenido espectral de la información en la banda baja, para simular en la recepción la información de las bandas de frecuencias elevadas eliminadas previamente en la transmisión.

1.4. Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB)

El sistema ISDB o Servicios Integrados de Radiodifusión Digital fue desarrollado por la Asociación de Industrias de Radio y Negociaciones

(ARIB) de Japón para proporcionar flexibilidad, expansibilidad y concordancia a los servicios de difusión multimedia usando la red. Fue adoptada en diciembre de 2003 y a diferencia de otros, este sistema cubre la televisión y la radio, fue nombrado de esta forma por su semejanza al ISDN, ya que ambos permiten por medio de la multiplexación que los distintos canales de datos se transmitan juntos.

ISDB brinda distintos servicios, por lo que el sistema tiene que cumplir con una variedad de requisitos que tal vez difieran de un servicio a otro, por ejemplo, se requiere una gran capacidad de transmisión para el servicio de TV digital, mientras que es necesaria una gran confiabilidad para servicios de datos. Por ello, el sistema de transmisión proporciona esquemas de modulación y de protección de errores, que pueden seleccionarse y combinarse de manera flexible, para integración de los diferentes servicios.

Existen tres estándares de radiodifusión del sistema ISDB con formatos comunes de multiplexado los cuales permiten televisión de alta definición así como transmisión de datos, estos subsistemas son:

- **ISDB-T (Terrestre).** Para radiodifusión terrestre, cuenta con la flexibilidad para transmitir televisión digital, programas de sonido y ofrecer servicios multimedia (video, texto, audio, programas de cómputo). En la recepción se diseñó para tener una recepción estable a través de receptores móviles, baratos, ligeros y compactos.

ISDB-T utiliza un método de modulación llamado Transmisión Segmentada de Banda (BST-OFDM), la cual consiste de un conjunto de bloques de frecuencias básicas comunes llamados segmentos BST.

BST-OFDM permite una transmisión jerárquica, empleando para cada segmento, diferentes esquemas de portadoras de modulación (QPSK, DQPSK, 16-QAM o 64 QAM), tasas de codificación del codificador interno ($1/2$, $2/3$, $3/4$, $5/6$, $7/8$) y esquemas de protección de errores (profundidad del tiempo de entrelazado).

Con la transmisión jerárquica pueden ser proporcionadas en un canal terrestre hasta tres capas de servicio (tres grupos diferentes de segmentos). También se puede tener recepción parcial de los servicios utilizando un receptor con ancho de banda menor al que tiene un segmento OFDM. En el receptor, puede haber una recepción parcial, esto es un caso especial de la transmisión jerárquica, por ejemplo, si la transmisión se limita a un solo segmento de OFDM, en lugar de 13, este segmento se puede recibir independientemente de los otros 12 segmentos.

Una señal de control, llamada Control de Configuración de Multiplexado y Transmisión (TMCC) permite al receptor procesar una variedad de esquemas de modulación, correcciones de errores y transmisión jerárquica. Para enviar la señal TMCC, el formato de la señal de transmisión ISDB incorpora un área fuera de la cadena del paquete para el envío de una señal de sincronización y una señal de control.

Cada segmento tiene un ancho de banda correspondiente a $1/14$ del canal, por ejemplo, para un canal de 6 MHz cada segmento ocupa $6 \text{ MHz} \times (1/14) = 428.6 \text{ KHz}$ del espectro (banda angosta). En un canal terrestre hay trece segmentos espectrales de OFDM activos (banda ancha), es decir, para un canal de TV de 6 MHz el ancho de banda útil es $BW = 6 \text{ MHz} \times (13/14) = 5.57 \text{ MHz}$, para un canal de 7 MHz es de 6.5 MHz y de 7.43 MHz para un canal de 8 MHz.

La banda ancha de ISDB-T, que consiste de trece segmentos con los cuales es posible transmitir tres programas simultáneos con diferente robustez y modulación, puede proporcionar servicios de HDTV y servicios de multiprogramas, mientras que la banda angosta es adecuada para la transmisión de audio y datos.

En cuanto a la codificación de la fuente, el video y el audio son codificados usando MPEG-2. La tasa de bit requerida para la transmisión se logra con el codificador interno. La tasa binaria de MPEG-2 es fácil de cambiar en base a la información del sistema. Sin embargo, la tasa binaria en general no puede ser cambiada libremente debido a las restricciones establecidas por el filtro analógico y al rango de tiempo de captura de símbolos.

Dependiendo del modo de la portadora de modulación, el entrelazador de bits distribuye la cadena de bits sobre diferentes portadoras para evitar desvanecimiento selectivo que pueda provocar errores en el mensaje. El entrelazador de frecuencia y de tiempo genera una permutación entre símbolos para esparcirlos en el tiempo y en la frecuencia sobre tramas de tiempo OFDM y segmentos de frecuencia OFDM. Para el entrelazador de tiempo están disponibles cuatro opciones y puede ser programado hasta 427.5 ms. El entrelazador de frecuencia es fijo para cada modo.

Después del entrelazador de frecuencia, el bloque de adaptación de la trama OFDM introduce señales centrales y genera la trama completa de OFDM, posteriormente se introduce el tiempo de guarda dentro de la señal modulada (programada para $1/2$, $1/8$, $1/16$ o $1/32$

ciclos), dicho intervalo de guarda da una protección a la señal de ISDB contra la interferencia entre símbolos y entre portadoras.

ISDB Integra sistemáticamente varios servicios digitales, los cuales incluyen radio móvil (MobaHo), multiprogramas de video desde baja definición (LDTV) a alta definición (HDTV), multiprogramas de audio, gráficos, imágenes, texto, datos, etc. Además, incluye servicios interactivos tales como selección de programa al aire, almacenamiento de datos, información del clima, servicio de noticias y captura de imágenes. La figura 2.7 muestra al sistema general ISDB.

Brasil que actualmente usa un sistema de televisión analógico que ligeramente difiere de cualquier otro país, está considerando ISDB-T para su formato de DTV, ningún otro país está considerando ISDB, posiblemente por ser demasiado costoso comparado con otros formatos; sin embargo, seleccionó a este sistema como el mejor en radiodifusión digital de entre ATSC, DVB-T e ISDB-T, ya que está considerado como el más flexible y eficaz de todos para cubrir bien las necesidades de movilidad y portabilidad.

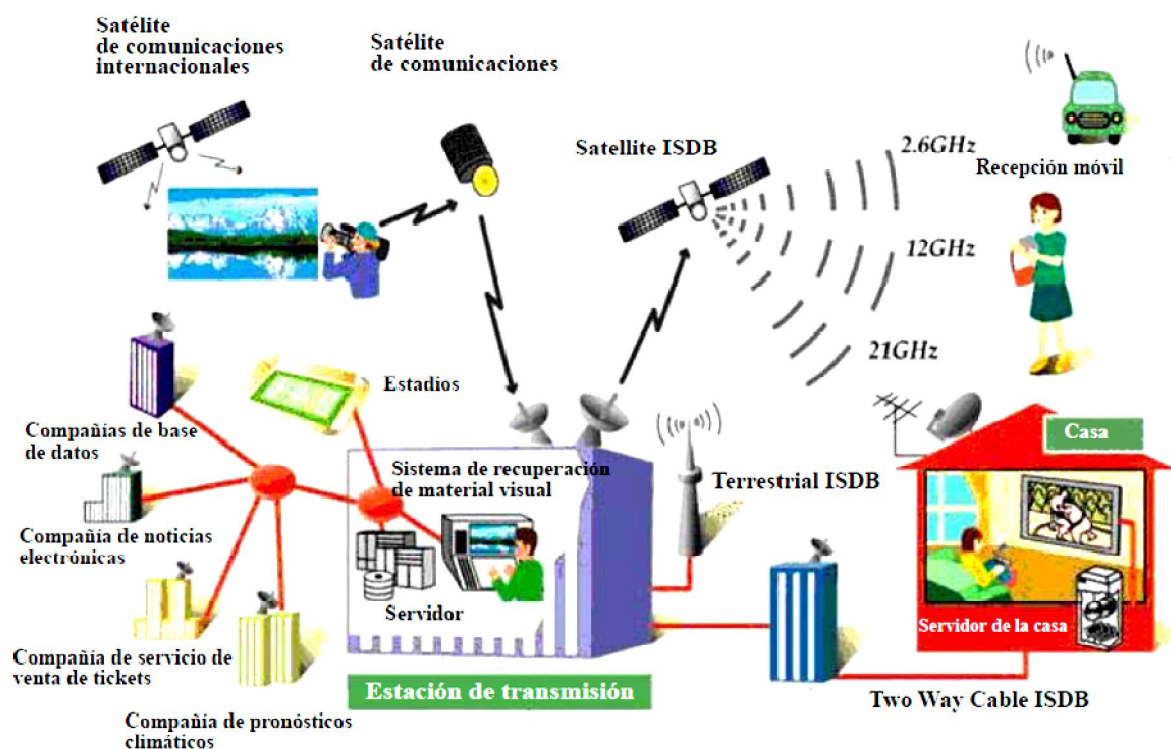


Figura 2.7. Sistema General ISDB

- **ISDB-S (Satelital) y ISDB-C (por Cable).** La transmisión de la señal para los canales satelitales y de cable se realiza de manera similar a la transmisión terrestre, pero con modulación diferente. La transmisión satelital utiliza modulación 8 PSK, mientras que la transmisión por cable utiliza modulación 64 QAM. La figura 2.8 muestra un esquema de los tipos de modulación en ISDB

Para receptores portátiles y móviles es preferible tener una antena de baja ganancia de recepción debido a que esto simplifica y reduce el costo del receptor. La potencia de transmisión de los canales satelitales es limitada y además la tasa de transmisión está restringida.

Las bandas de frecuencia que pueden ser utilizadas para proporcionar ISDB-S son aquellas para la radiodifusión del servicio satelital (BSS, por sus siglas en ingles) en WARC-92. Estas incluyen, además de la banda de 1.5 GHz (1452-1492 MHz) para todo el mundo, incluye a la banda de 2.6 GHz (2535-2655 MHz) para varios países asiáticos incluyendo Japón y la banda de 12 GHz.

Además de la transmisión audio y video, ISDB también define las conexiones de datos (difusión de los datos) con Internet como un canal de vuelta sobre varios medios (10Base-T/100Base-T, línea telefónica módem, teléfono móvil, LAN sin hilos (IEEE 802.11) etc.) y con diversos protocolos. Esto se utiliza, por ejemplo, para los interfaces interactivos como la difusión de los datos (ARIB STD B-24) y las guías electrónicas del programa (EPG). Las conexiones de comunicaciones a B-ISDN ATM se logran a través de AAL; las conexiones a las redes de computadoras son logradas por medio del protocolo TCP/UDP.

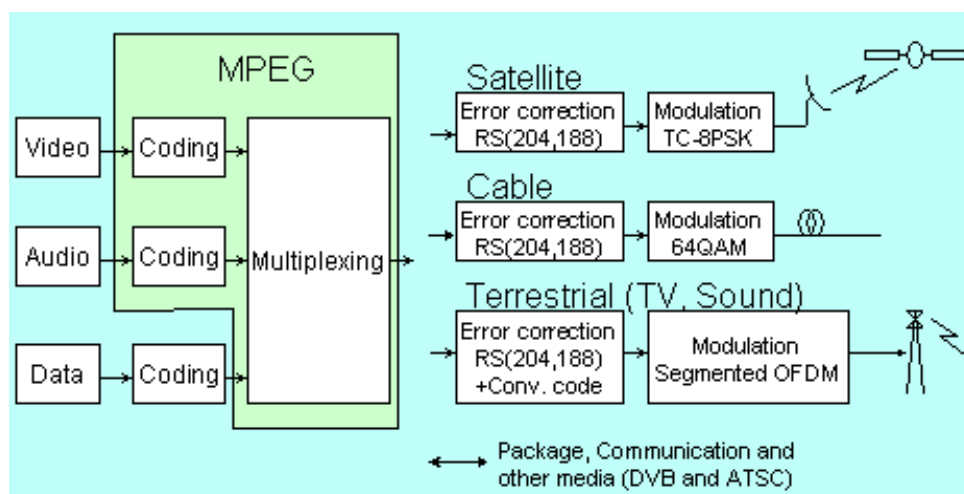


Figura 2.8. Tipos de Modulación de los canales de ISDB

Por otra parte, el sistema Digital Multimedia Broadcasting (DMB) ha sido desarrollado en Corea, siguiendo el modelo europeo del sistema Eureka 147 o DAB. Aunque DMB añade otras herramientas de codificación de audio y de corrección de errores diferentes al DAB, también tiene algunas similitudes con el estándar para televisión móvil DVB-H (Digital Video Broadcasting Handheld).

Corea del Sur empezó en 2005 con el despliegue gradual de las versiones de esta tecnología, primero con S-DMB y luego con la versión terrestre, T-DMB, que consistía en 7 canales de televisión, 13 radiocanales y 8 canales para datos.

En Europa todavía se está en periodo de pruebas, pero se prevé que a corto plazo países como Italia, Francia, Reino Unido o Suiza ya empiecen a desarrollar esta tecnología con fines comerciales.

1.5. Sistemas de Radiodifusión Digital por Satélite

A finales de los 80 técnicamente era posible emitir canales de audio vía satelital en Europa, sin embargo no se logró concretar algún servicio, sino hasta la puesta en órbita de los Astra, satélites con los cuales empresas privadas comenzaron a desarrollar un sistema que permitiera la radiodifusión sonora centrada en los mercados inglés, alemán y holandés.

Con los satélites TV-SAT a 19° Oeste y Kopernikus a 23.5° Este, los alemanes iniciaron el primer proyecto de radio digital vía satélite llamado DSR (Digital Satellite Radio), que comenzó a finales de 1989 y permitía difundir por un transpondedor 32 canales monofónicos o 16 estéreo, con 15 KHz de ancho y 32 KHz de muestreo, presentaba 14 bits de resolución a una velocidad de 728 Kbps, lo que permitía una calidad de audio superior a la FM. La emisión de programas permaneció hasta 1998, el satélite TV-Sat quedó fuera de servicio al inicio del proyecto y los programas se mantuvieron mediante el Kopernikus.

En 1995 Astra activó sus transponedores con subportadoras de baja amplitud digitales, con los que se pretendía dar un servicio de radiodifusión; por un lado se implementó por parte de la sociedad DMX una serie de canales musicales, inicialmente de pago, opción que no logró prosperar y finalizó en julio de 1997, y por otro lado, radiodifusoras alemanas incrementaron la presencia de sus canales de radio, opción aún vigente que se conoce con el nombre de ADR (Astra Digital Radio), sin embargo permaneció con las canalizaciones habituales de las subportadoras analógicas. Actualmente Eutelsat y Astra tienen canales de

radio de libre acceso con velocidades de flujo variables, donde cada sociedad establece su normativa en función al servicio que se brinda.

En un futuro se prevé en Europa que se utilicen receptores con posibilidad de recibir el codec MPEG-4 AAC a 96 Kbps empleado en el sistema DRM, que consigue una mejor calidad que con el MPEG-2 a 192 Kbps empleado actualmente. Se estudia, también la posibilidad de transmitir mediante 3 satélites de alta órbita elíptica HEO, para dar servicio a las zonas nórdicas Escandinavas, que darían servicio durante ocho horas diarias y posiblemente, sin repetidores terrestres, parecido al Sirius de EU, pero en la banda de 1452 a 1500 MHz.

Sin embargo, en esta banda también se recibe al Worldspace, cuyo promotor es la compañía luxemburguesa GlobalRadio, en colaboración con Dalet, quien diseñó y desarrolló el sistema estadounidense XM-Radio. El sistema S-DARS (Satellite Digital Audio Radio Service), prevé difundir entre 70 y 140 canales en todos los haces de cobertura. La difusión ofrecerá de 20 a 30 canales de interés intereuropeo en un haz global y cien canales locales en multitud de lenguas, y con servicios particularizados hacia siete zonas diferentes mediante siete haces de cobertura.

1.5.1. DARS (Digital Audio Radio Service)[8]

A nivel mundial se emplea para la difusión directa de audio por medio de satélites la banda de 1452 a 1492 MHz, sin embargo, en los Estados Unidos dicha banda está dentro de los 1435 a 1530 MHz, banda que se emplea para pruebas de telemetría aeronáutica. Por ello, la ITU (International Telecommunications Union) asignó la banda de 2310 a 2360 MHz para difusión doméstica en los Estados Unidos, acción que limitaba un servicio uniforme a nivel mundial.

En los Estados Unidos la FCC (Federal Communications Commission) asignó en 1992 una banda de frecuencias en la banda "S" de 2310 a 2360 MHz, para la difusión de radio digital por satélite a todo el país, para dicho sistema conocido como DARS (Digital Audio Radio Service) la FCC otorgó solo dos licencias de radiodifusión en 1997, estas compañías fueron American Mobile Radio llamado actualmente XM Satellite Radio y Satellite CD Radio, conocida ahora como Sirius Satellite Radio, ambas empresas solo ofrecen el servicio al área continental de EU, es decir, sin considerar Alaska ni Hawaii.

El funcionamiento de un sistema DARS (figura 2.9) se realiza mediante una estación de radio que transmite desde tierra al satélite la programación por medio de ráfagas continuas de información, la cual es recibida,

amplificada y retransmitida a tierra por los satélites (segmento espacial). Existen repetidores en tierra (segmento terrestre) que se encargan de repetir la señal principalmente en áreas urbanas, donde éstas pueden ser bloqueadas por edificios o puentes, finalmente los receptores (segmento del usuario) captan la señal de audio, de estos hay distintos modelos tanto para vehículos como para hogar u oficina y, desde luego los hay portátiles.

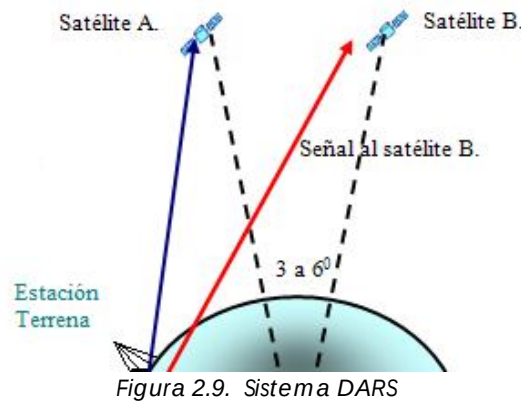


Figura 2.9. Sistema DARS

1.5.2. XM Radio Satélite

El sistema XM Satellite Radio, con sede en Washington, consta de dos satélites llamados Rock & Roll que cubren a los Estados Unidos, ambos están ubicados en una órbita geoestacionaria, el primero de ellos, llamado Rock, fue lanzado el 8 de enero de 2001 y está posicionado a 115° de latitud Oeste, mientras que el segundo, llamado Roll, se lanzó el 8 de mayo del mismo año y se encuentra a 85° de latitud Oeste. Un tercer satélite será lanzado y funcionará como reserva, en caso de que alguno de los otros dos falle.

La carga útil de estos satélites, compuesta de dos transpondedores, la construyó la compañía europea Alcatel, cada transpondedor tiene 16 TWTs (traveling wave tube) activos de 228 W y porta seis más de reserva, generando aproximadamente 3000 W de señal de radiofrecuencia y emiten entre las frecuencias de 2332,5 a 2345 MHz de la banda S.

XM Satellite Radio ofrece un paquete de 100 canales con sonido digital, entre los que se encuentra música, noticias, deportes, comedia y programación infantil; sus receptores están siendo fabricados por Sony, Alpine, Pioneer, Clarion, Blaupunkt, Delphi-Delco, Visteon, Panasonic y Sanyo. XM Satellite Radio ha realizado inversiones estratégicas con compañías automovilísticas, de TV y radio, entre las que se encuentran: General Motors, Honda, Clear Channel Communications, DirecTV y Motient.

Su área de cobertura comprende E.U.A, una pequeña parte de Alaska y el sur de Canadá (ver figura 2.10). Las señales pueden recibirse también en las islas del Caribe y en la mayor parte del territorio mexicano, sin embargo, la recepción de señales en estos lugares no está permitida.

La vida útil de los satélites XM-1 y XM-2 se vio reducida a 6 años, de los 15 que estaban planeados, debido a fallas en su diseño. En compensación a esta falla, en el 2005 se lanzó el satélite XM-3 y se ubicó en la posición original del XM-1, haciendo que este último se colocara junto con el XM-2, permitiendo que cada satélite operara solo con un transponder y así disminuir su consumo de energía.

En octubre del 2006, se lanzó también el XM-4 ("Blues") para completar el programa de reemplazamiento de los satélites. En diciembre del 2006, el satélite XM-1 fue apagado y colocado en su posición original, sirviendo como posible respaldo del XM-3. El XM-2 también será apagado y colocado junto al XM-4 para que sirva como respaldo de éste. En consecuencia, habrá solo dos satélites activos a corto plazo: XM-3 y XM-4. Por otro lado, en junio del 2005, la empresa Space Systems/Loral anunció que había conseguido un contrato para el desarrollo del satélite XM-5.



Fig. 2.10. Cobertura de los satélites de XM Satellite Radio[8]

1.5.3. Sirius Radio Satellite [8]

La segunda compañía que ofrece sus servicios de radio satelital en Estados Unidos tiene su sede en el Rockefeller Center de Nueva York, dicha compañía ofrece sus servicios desde abril de 2002 y es llamada Sirius Satellite Radio. El sistema de Sirius está compuesto por tres satélites en una misma órbita elíptica inclinada, lo que permite cubrir en todo momento el área continental de EU con al menos un satélite, cada satélite permanece cerca de 16 horas al día sobre los Estados Unidos; se prevé que sea lanzado un cuarto satélite que servirá de reserva para sustituir a cualquiera de los otros tres en caso de falla.

La compañía estadounidense Space Systems/Loral, fue la encargada de la construcción de los satélites de la constelación Sirius y la frecuencia en la que operan es de los 2320 MHz a los 2332,5 MHz. La innovación del sistema Sirius Satellite Radio es que presenta una modulación bajo el sistema S>PLEX Statistical Multiplexing, que brinda el ancho de espectro a los canales que lo necesitan, en forma dinámica.

Sirius difunde 50 canales de música sin comerciales y 50 canales de noticias, deportes, entretenimiento y conciertos en vivo, en la elaboración de su programación cuenta con el apoyo de empresas como: CNBC, National Public Radio, Outdoor Life Networks, Speedvision, USA Network, SCI FI, la BBC de Londres y una cadena hispana.

Sus receptores son fabricados por Kenwood, Panasonic, Clarion y Jensen.

Existen modelos para automóvil y también existen equipos para casa. Sin embargo, Sirius presenta la opción de actualizar el actual estéreo de automóvil con un adaptador que se conecta a la entrada de la señal de FM. Por otra parte, también ha establecido importantes acuerdos con empresas fabricantes de autos para que los nuevos modelos vengan equipados de fábrica con un radio digital por satélite, algunas de estas compañías son: Chrysler, BMW, Ford, Jaguar, Mazda, Jeep, Audi, y Volvo.

En órbita existen tres de estos cuatro satélites y sus trayectorias son tales que siempre hay un satélite sobre el territorio de cobertura (E.U.A), vea la figura 2.11

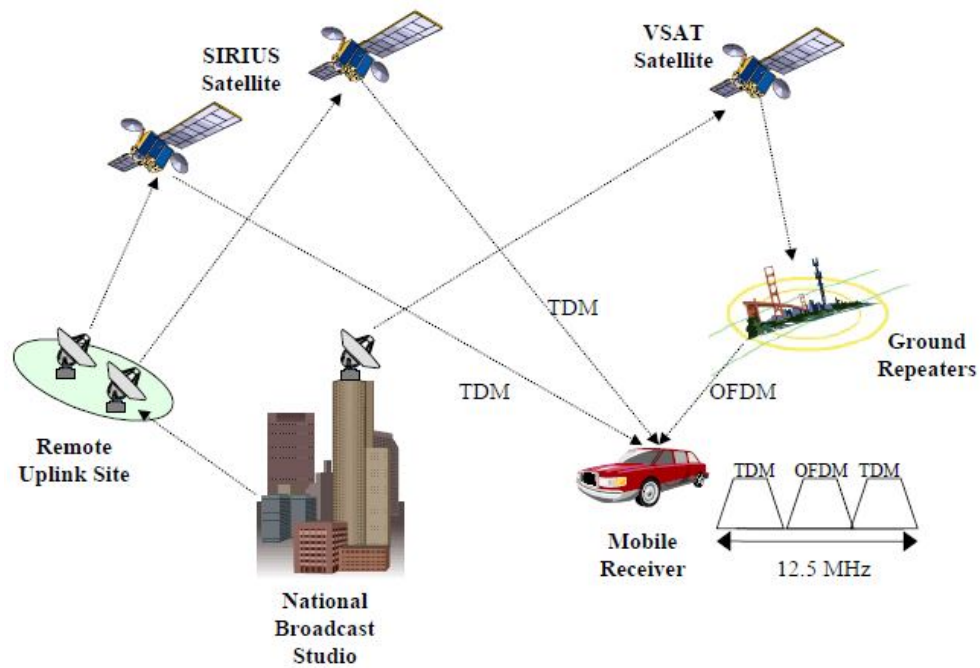


Figura 2.11. Esquema del sistema Sirius [8]

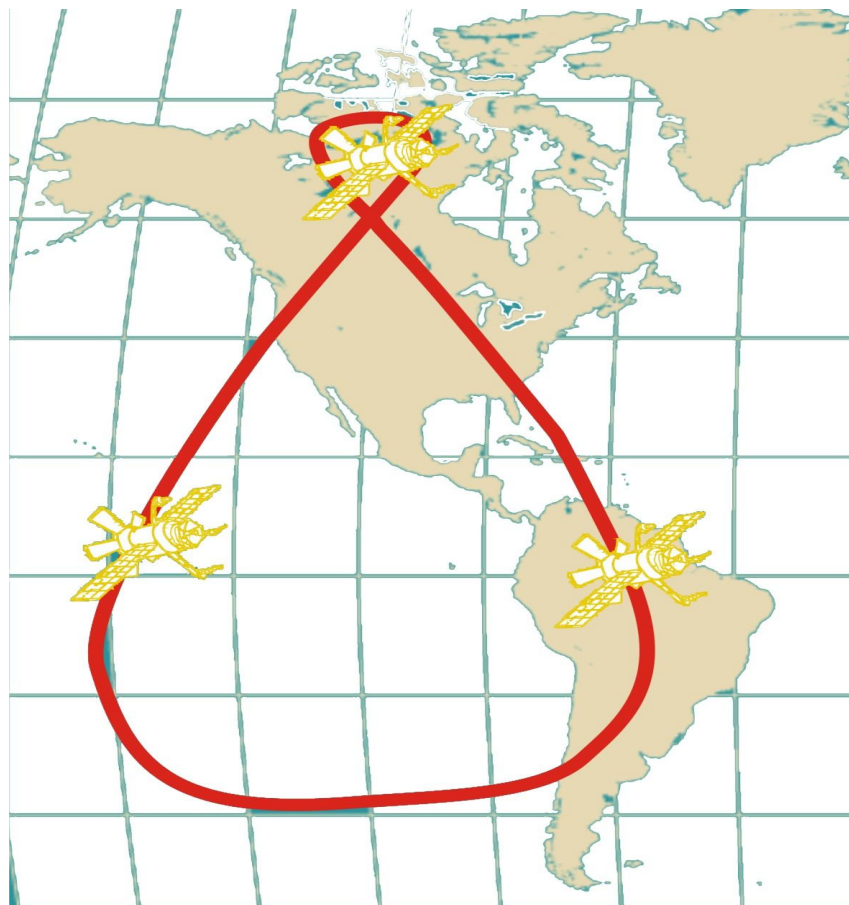


Fig.2.12. Órbita de los satélites de Sirius[8]

Como se observa en la figura, hay tres satélites, cada uno efectúa un recorrido completo cada 24 horas y en cualquier momento del día, hay dos satélites ubicados por arriba del ecuador.

El cuarto satélite está en reserva como respaldo a cualquier falla que se presente con los que están en órbita. La figura 2.12 muestra la trayectoria seguida por los satélites. Además de estos satélites, existe una red de repetidores terrestre, para ayudar en la recepción en lugares donde abundan edificios altos. La señal procesada en el receptor puede ser entonces la de un repetidor o la del satélite, esto depende de cual señal sea más potente y el proceso de elección es automático y transparente para el usuario. Tal como parece en la foto, se podría pensar que la recepción de las señales de Sirius es posible en Sudamérica, sin embargo, no es así, esto debido a que el uplink está ubicado en E.U.A y la señal que se transmite a los satélites (para que estos la retransmitan después) no llega hasta el satélite que está más al sur.

La compañía está planeando lanzar un cuarto satélite para mejorar sus servicios, permitiendo además que, si falla un satélite en una constelación de cuatro, solo se tengan que reacomodar los tres restantes a sus órbitas actuales.

1.5.4. WorldSpace [8]

La Fundación WorldSpace es una organización creada en 1997 sin fines de lucro que promueve la educación y la programación informativa a la población de países en desarrollo, está integrada por organizaciones no gubernamentales, agencias de la ONU, ministerios del gobierno, grupos internacionales, universidades y estaciones de radio.

El primer satélite del sistema WorldSpace, llamado AfriStar, fue puesto en órbita en octubre de 1998, sin embargo, empezó a operar hasta octubre de 1999, posteriormente el satélite llamado AsiaStar fue lanzado al espacio en marzo del 2000. Se prevé contar con un tercer satélite de nombre AmeriStar que cubrirá al continente americano, excepto a Estados Unidos. En este sistema han colaborado las compañías de Francia Alcatel Space y Matra Marconi Space que se encargaron de la construcción de los satélites y el lanzamiento fue realizado por Arianespace; de Japón, las compañías Hitachi, JVC, Panasonic y Sanyo se encargaron de la fabricación de los receptores; los circuitos integrados empleados en la construcción de los receptores los desarrollaron las compañías ST Microelectronics de Italia y Micronas Intermetall de Alemania.

WorldSpace emplea la banda de frecuencias asignadas para la radiodifusión de audio digital de los 1,469 a los 1,481 MHz de la banda L; cada satélite emite tres haces dirigidos a los países en vías de desarrollo, ubicados en África, Asia y América, cada uno de ellos con más de 40 canales de programación con contenidos de información, educación básica y tópicos relacionados con el desarrollo, en distintos lenguajes, tales como el inglés, francés, alemán, español, árabe, italiano, hindú y urdu, entre otros.

WorldSpace es la compañía pionera de radio móvil por satélite a nivel mundial, cada receptor recibe datos desde los 16 Kbps hasta los 128 Kbps de velocidad, lo que permite emitir hasta 432 canales monofónicos o 216 estéreos o 108 de alta calidad.

Cada satélite tiene la función de cubrir determinadas áreas, en la figura 2.13 se muestra esto: AfriStar cubre África y el medio Oriente, por su parte AsiaStar cubre desde Indonesia e India a Corea y China.

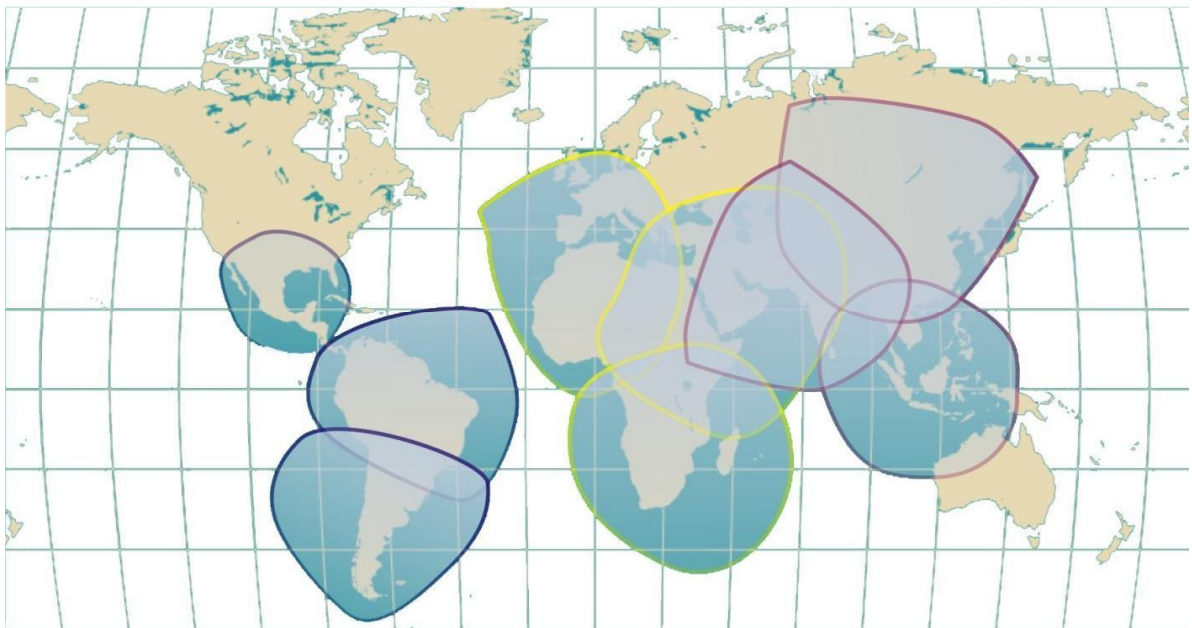


Fig. 2.13. Área de cobertura de los satélites de WorldSpace.[8]

Dependiendo de la calidad de audio requerida para cada servicio, cada haz en uno de los satélites será capaz de transmitir hasta 96 servicios con 16 [kbps] cada uno.

La codificación de audio que utiliza está basada en el algoritmo MPEG de capa 3.

La tasa de codificación para cada servicio está disponible en múltiplos simples de un canal básico de 16 [kbps] hasta el máximo de 128 [kbps]. Subjetivamente, la calidad de audio que puede proveer va desde mejor que AM hasta calidad de CD.

Las emisoras que utilicen este servicio pueden subir sus programas desde hubs centralizados o bien a través de los enlaces de alimentación individuales localizados en cualquiera de las huellas de up-link de los satélites, dichas huellas se muestran en la figura 2.14.

Los emisores tendrán la opción de usar un enlace de subida local de baja potencia o enviar sus servicios a un enlace de subida remoto de alta potencia. Esto es posible debido al uso de FDMA para el enlace de subida.

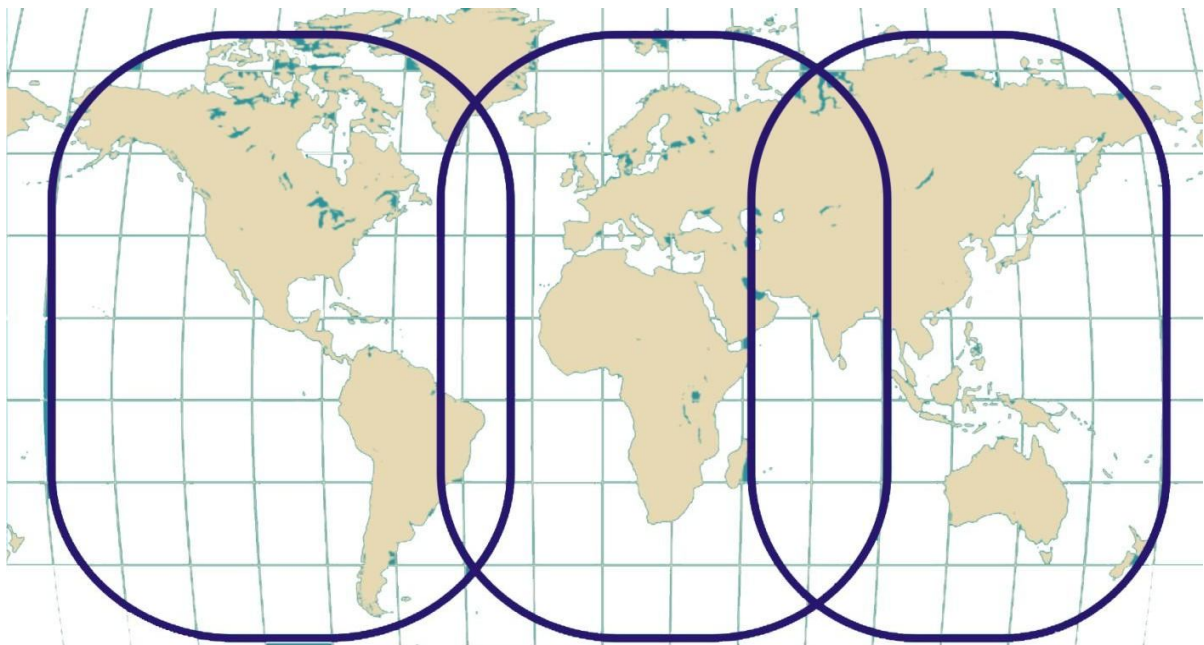


Fig. 2.14. Huellas de Up-Link de los satélites de WorldSpace.[8]

Al ser recibidas en el satélite, las señales desde las estaciones de subida se ensamblan para formar el múltiplex. El arreglo permitirá que cada uno de los tres haces puede bajar su propio múltiplex. El enlace de bajada para cada haz utiliza TDMA y el procesamiento banda base en el satélite lleva a cabo el proceso de conversión de FDM a TDM.

1.6.Desarrollo de los Sistemas en el Mundo

Es necesario tener presente los dos modos que existen de la Radiodifusión, unos consideran esta actividad como un servicio público y en consecuencia, está en manos estatales, esto ocurre en la mayoría de los

países europeos y otros la consideran una actividad de privados y se entrega a la explotación de éstos por plazos determinados.

Lo anterior resulta importante de resaltar pues aun cuando ambas miden la penetración de los sistemas según el porcentaje de población que cubren, lo hacen por razones diferentes los unos para dar un mayor servicio y los otros para tener una mejor posición en relación con sus avisadores.

Oportuno también resulta indicar que existe un organismo íntimamente relacionado con el sistema EUREKA 147, es el Foro Mundial del DAB conocido por su sigla *World DAB Forum* que entrega un mapa con la situación de la radiodifusión sonora digital a través del mundo principalmente relacionada con dicho sistema. Su relación con el sistema EUREKA explica por qué el mapa no hace ninguna referencia a lo que sucede en los Estados Unidos, país que ha optado por desarrollar otro sistema.

No obstante lo anterior de igual forma, se muestran a los países que se encuentran experimentando con algún sistema, o aquellos muestran algún grado de interés en el tema. Todos los datos, en general, corresponden a información reunida a partir del año 2003.

1.6.1. Situación del Sistema EUREKA

Las tablas siguientes muestran el grado de penetración del sistema Eureka en el mundo, medido en términos de la población cubierta por este servicio, la fecha de inicio del servicio y estado operacional del mismo.

Tabla 2.1. Sistema Eureka en Europa

EUROPA			
País	% Población	Inicio	Estado
ALEMANIA	80	ABRIL 1999	OP
AUSTRIA	19		OP
BELGICA	98		OP
CROACIA	30	SEPT. 1997	OP
DINAMARCA	90	OCT. 2002	OP
ESLOVAQUIA			EST
ESLOVENIA			EXP
ESPAÑA	50	1998	OP
FRANCIA	25	ENERO 1997	OP
GRECIA			EXP
HOLANDA	40	FEB. 2004	OP
ITALIA	45	1995	OP

NORUEGA	50	FEB 1999	OP
PORTUGAL	75	ENE 1998	OP
REINO UNIDO	80		OP
REP. CHECA	12	MARZO 1999	OP
SUIZA	58	OTC. 1999	OP

Fuente: World DAB forum

OP: Operación

EST: Estudio

EXP: Experimentación

Importante resulta resaltar que Europa es la cuna del desarrollo sistema EUREKA y dado que la industria electrónica de prácticamente todos los países europeos participó en su creación, este sistema ha sido adoptado por ellos.

Para el continente Asiático la situación existente la muestra la tabla siguiente:

Tabla 2.2. Sistema Eureka en Asia

ASIA			
País	<i>% Población</i>	Inicio	Estado
BRUNEI		OCT. 200	OP
CHINA	2	1995	OP
COREA DE SUR			EST
INDIA	1	ABRIL 1997	OP
ISRAEL	85	1996	OP
JAPON		** ISDB – T **	
MALASIA			EST
SINGAPUR	100	NOV. 1999	OP
TAIWAN	90	MAR. 2000	OP

Fuente: World DAB forum

OP: Operación

EST: Estudio

EXP: Experimentación

En Asia un caso especial es el de Japón. Este país decidió utilizar, después de revisar las alternativas existentes de radiodifusión digital, la solución “local” y desarrolló su propio sistema llamado ISDB-T (Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting). Esta tecnología permite su utilización tanto en radiodifusión sonora como televisiva y se espera que esté disponible en Japón entre los años 2005 y 2007.

El porcentaje de población cubierta por la radiodifusión digital tanto en China e India es baja y se debe a la extensión de sus territorios.

En el caso del continente Africano y de Oceanía la situación es la siguiente:

Tabla 2.3. Sistema Eureka en África y Oceanía

AFRICA Y OCEANIA			
País	% Población	Inicio	Estado
NAMIBIA			EST
SUDAFRICA	18	1997	OP
AUSTRALIA	15	DIC. 2004	OP

Fuente: World DAB forum

OP: Operación

EST: Estudio

EXP: Experimentación

En América sólo Canadá mantiene operando un servicio de radiodifusión digital con 73 estaciones. México, que en un principio había optado por el sistema EUREKA, posteriormente a comienzos del 2004 anunció que iniciaría, pruebas tanto con el sistema EUREKA como con el IBOC, éstas se realizaron en la ciudad de México. El Comité de Nuevas Tecnologías, a cargo de las pruebas, planteó, en junio último, la necesidad de continuar realizando pruebas a los sistemas de radio digital existentes, por lo que en los próximos meses realizará pruebas al sistema IBOC-AM y pruebas de alta potencia del sistema EUREKA-147, cuyos resultados piensan publicar a fines de año.

Tabla 2.4. Sistema Eureka en América

AMERICA			
País	% Población	Inicio	Estado
CANADA	35	NOV. 1999	OP
MEXICO			EXP

Fuente: World DAT forum

OP: Operación

EST: Estudio

EXP: Experimentación