



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ingeniería

Estudio Comparativo Técnico-Económico de los
Estándares Terrestres de Radiodifusión Digital
DAB e IBOC.

TESIS
que para obtener el título de
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

presenta:

José Alfredo Vázquez Reyes

DIRECTORA DE TESIS:
Dra. Fátima Mounyadi.



CIUDAD
2009

UNIVERSITARIA,

MÉXICO

D.F.

INDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 2. SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL

- 2.1. Sistemas de Radiodifusión Analógico
 - 2.2. Descripción del sistema de Radiodifusión Digital.
 - 2.2.1. DAB (Digital Audio Broadcasting).
 - 2.2.2. IBOC (In Band On Channel).
 - 2.2.3. Digital Radio Mondiale (DRM).
 - 2.2.4. Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB) y Digital Multimedia Broadcasting (DMB).
 - 2.3. Radio Satelital.
 - 2.3.1. DARS (Digital Audio Radio Satellite).
 - 2.3.2. XM Satellite Radio.
 - 2.3.3. Sirius Satellite Radio.
 - 2.3.4. Worldspace.
- Bibliografía y referencias.

CAPÍTULO 3. COMPONENTES DEL SISTEMA DE RADIO DIGITAL

- 3.1. Técnicas de Codificación de Audio.
 - 3.2. Técnicas de Control de Errores.
 - 3.3. Técnicas de Modulación.
 - 3.4. Técnicas de Multiplexación.
- Bibliografía y referencias.

CAPÍTULO 4. ESTÁNDARES DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL DAB E IBOC

- 4.1. Estándar DAB.
 - 4.1.1. Requerimientos para el sistema.
 - 4.1.2. Codificación de audio.
 - 4.1.3. Modulación.
 - 4.2. Estándar IBOC.
 - 4.2.1. Requerimientos para el sistema.
 - 4.2.2. Codificación de audio.
 - 4.2.3. Modulación.
- Bibliografía y referencias.

CAPÍTULO 5. COMPARACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LOS ESTÁNDARES DAB E IBOC

- 5.1. Comparación técnica.
 - 5.2. Comparación económica.
- Bibliografía y referencias.

CAPÍTULO 6. RECOMENDACIONES PARA LA ADOPCIÓN

- 6.1. Recomendación técnica.
 - 6.1.1. Experiencias de Radio Digital en diversos países.
 - 6.1.2. Expectativas del servicio.
 - 6.1.3. Legislación en México.

- 6.1.4. Limitaciones.
 - 6.1.5. Mapa de distribución de estándares adoptados en el mundo.
 - 6.2. Recomendación económica.
 - 6.3. Resultados de la comparación.
- Bibliografía y referencias.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo, los seres humanos hemos buscado que las tecnologías aplicadas, y en especial, las que proporcionan algún servicio vayan mejorando. Las telecomunicaciones no son la excepción, y es que siempre existe un compromiso por entregar servicios de mejor calidad, más eficientes y con menor costo.

Actualmente, se tienen diferentes fenómenos que pujan por una renovación en la forma de otorgar los servicios, uno de ellos y tal vez el más importante para el tema de esta tesis es el llamado “apagón analógico”. El apagón analógico es un término que define el cese de la transmisión de las señales en su formato analógico para dar paso a una serie de nuevas tecnologías, que resultarán en la transmisión de ondas en un formato totalmente digital. El objetivo de dicha empresa, es el de otorgar servicios de mayor calidad usando de manera mas eficiente las herramientas existentes.

Se ha llevado a cabo, principalmente en países europeos, un movimiento muy grande por establecer fechas límite para el cese de las transmisiones analógicas, e inclusive algunos países como Luxemburgo, Holanda, Finlandia, Andorra, Suecia y Suiza han concluido ya satisfactoriamente con el cambio. Por el otro lado, suele haber una especie de incertidumbre en el medio, debido a que no se está seguro de si para el caso de algunos otros países cuya transición esta en progreso, como España o Alemania, se llegará a la meta en el tiempo establecido pues aunque ya existe una fecha exacta para el apagón, los analistas afirman que esta es muy optimista y que el mercado no esta listo para tal cambio.

Por experiencia propia, sabemos que los cambios tecnológicos siempre llevan consecuencias consigo y que además, existen ventajas y desventajas en los mismos, mas aún, cuando estos repercuten económicamente en cientos de miles de personas. Al hacer un análisis a fondo, de lo que conlleva realizar un cambio, siempre existen soluciones diversas, las cuales deben ser tomadas en cuenta para así poder adoptar la solución que más se acomode a nuestras necesidades, tomando en cuenta, que eso no significa que la solución que se adoptó a una región es la misma que puede aplicar para otra.

El estudio de esta tesis, tiene como objetivo analizar el caso de la transición analógico digital para la radiodifusión terrestre, que es otro de los sectores en donde se están realizando cambios.

En México, todos estamos acostumbrados a sintonizar nuestra canción o programa favorito en las bandas tanto de frecuencia modulada (FM) como de amplitud modulada (AM), de hecho, la radio FM se estableció como una mejora de la AM. Haciendo un poco de historia, recordemos que cuando nació la radio FM en México, los operadores apostaron por esta nueva tecnología pues ofrecía una mejor calidad de audio aparte de que las antenas receptoras eran de menor tamaño reduciendo así su costo de producción y, finalmente el costo de operación. Dicha decisión fue vista de la misma manera en prácticamente todo el mundo, e inclusive, existen países que dejaron de transmitir en AM. Dentro de este contexto, es de pensarse que la mayoría de la inversión fue realizada en FM y que el modelo económico de vender una audiencia masiva a los diferentes anunciantes, se movería, si no por completo, en su gran mayoría a FM. El gobierno, de igual manera presionado por los diferentes grupos radiodifusores

interesados, apoyo a FM, pero sin mover nada en AM pues había radiodifusores que no contaban con la inversión necesaria para competir en una licitación de frecuencias de FM y que además no contaban con la infraestructura necesaria para poder transmitir en FM. La realidad, es que desde ese entonces, AM tenía una visible desventaja sobre FM, dicha desventaja se reflejó en los cambios de contenido de los programas en cada una de las bandas y el marketing de las mismas.

Hoy en día, se tiene un panorama parecido, pues las nuevas tecnologías para Radiodifusión Digital Terrestre ofrecen ventajas técnicas como una mayor calidad de sonido, un mejor uso de las ondas radiofónicas (lo que implica la posibilidad de añadir más servicios y programas) y la desaparición de las interferencias, además, dentro de los servicios de valor agregado, se encuentran el poder recibir información relevante de la canción o programa que se está escuchando, solicitar información sobre noticias, precios de acciones, cotizaciones bursátiles, resultados deportivos o información meteorológica por decir algunos.

Las tecnologías actualmente disponibles que permiten el acceso a la radio digital y que se han como viables y aplicables a la radiodifusión digital sonora, son Eureka-147 (DAB), IBOC y DRM. Todo esto, basado en información documental y experimental, que puede ser utilizada por los países para adoptar el estándar que mejor satisfaga sus particulares necesidades.

El Eureka-147, es un estándar que permite una mejora muy grande en el aprovechamiento del espectro radioeléctrico, pero es necesario llevar a cabo una reasignación de frecuencias debido a que las bandas de trabajo del estándar son la Banda L y la Banda III de VHF.

Por el otro lado, tanto IBOC como DRM son sistemas en banda, es decir, utilizan la actual banda de frecuencias (tanto de AM como de FM), para llevar a cabo la transmisión digital, es importante señalar, que el estándar DRM solo trabaja en ondas por debajo de los 30 MHz, es decir, AM.

Además de todo, IBOC ofrece modos de transmisión híbridos, permitiendo así una transición gradual del modo analógico al modo digital, el único inconveniente, es que el ancho de banda necesario asignado actualmente tanto para las bandas de FM como de AM, no es el necesario ocurriendo así traslapes entre estaciones.

La aplicación de un estándar u otro no solo tiene repercusiones tecnológicas en el modelo de transmisión de las señales actuales, sino también en el modelo económico de las radiodifusoras quienes necesitan hacer inversiones para poder realizar el cambio.

Por el otro lado, está el caso de los radioescuchas, quienes deben de poder tener acceso a la tecnología para poder hacer uso de la misma y escuchar su programa favorito. Esto se ve reflejado en los dispositivos de recepción y que tan caros pueden llegar a ser estos.

El caso más importante, es el de los gobiernos, pues dependerá mucho de ellos el que la nueva tecnología tenga éxito pues a final de cuentas, serán ellos mismos quienes decidan por que tecnología inclinarse y marcar la regulación necesaria para que se adopte un cambio de la mejor manera posible.

Actualmente, México, aunque sigue realizando pruebas para tomar una decisión acerca de cual es el estándar que mejor se acomoda a sus necesidades, ya ha dictado los lineamientos para la transición de la Radio Digital Terrestre de las estaciones de radiodifusión sonora ubicadas dentro de la zona de 320 kilómetros de la frontera Norte de México, optando por la tecnología IBOC, lo cual puede marcar una pauta para el sistema que se llegará a adoptar en el país debido a que sería difícil el ver una convivencia de diferentes estándares en un solo país pues la regulación se haría más complicada para el gobierno, los gastos de las estaciones se elevarían y se crearía una confusión entre los radioescuchas, esto último debido a que prácticamente se pondrían a competir dos estándares.

La siguiente tesis está organizada de la siguiente manera:

El capítulo primero es una breve introducción a los sistemas de radiodifusión digital existentes, no solo terrestres sino también satelitales, explicando a grandes rasgos sus antecedentes, ventajas y modo de funcionamiento.

El segundo capítulo, va más a fondo, describiendo más a detalle, las cuatro componentes principales (técnicas de codificación de audio, control de errores, modulación y multiplexación) de los sistemas de radiodifusión digital, y las diferentes tecnologías utilizadas en cada uno de los mismos componentes, ya que de acuerdo al estándar, estas pueden llegar a variar.

En el tercer capítulo, se establecen a detalle las principales características de los estándares en cuestión, DAB e IBOC, planteando cuales son los requerimientos para su implementación, el tipo de codificación de audio que utilizan y la modulación.

En la quinta parte de este trabajo, una vez vistos cuales son las fortalezas técnicas de cada uno, se realiza la comparación técnica, basada en la recomendación UIT-BS 1514 y en el modelo por capas OSI, que define diferentes rubros en los que dos estándares deben ser comparados para poder emitir no solo si son aptos para su implementación en la radiodifusión digital terrestre, sino también para poder ver, más adelante, cual de los dos es el más aceptable. Dentro de este mismo capítulo, se realiza una comparación económica, basada en como se vería afectado el modelo económico de las radiodifusoras, es decir, que tan caro puede ser el adoptar un determinado sistema.

En el capítulo seis, se emite la recomendación técnica y la recomendación económica, así como los resultados de la comparación para después, en el capítulo séptimo, emitir las conclusiones correspondientes a la tesis aquí presentada.

CAPÍTULO 2. SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL

2.1. Sistemas de Radiodifusión Analógico

En general, los sistemas de radiodifusión, engloban un conjunto de técnicas para transportar información sobre una onda portadora. Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación, lo que posibilita transmitir más información en forma simultánea y a distancias más largas, protegiéndola de posibles interferencias y ruidos. Las técnicas analógicas de radiodifusión, se dividen básicamente en 2 sistemas, dependiendo del parámetro sobre el cual se actúe, estos son *Modulación de Amplitud (AM)* y *Modulación Angular*, cabe mencionar que esta última se subdivide en *Modulación de Frecuencia (FM)* y *modulación de Fase (PM)*.

Modulación de amplitud ^[1]

La modulación en amplitud, es el primer método y el más simple descubierto para las comunicaciones vía radio. En esta técnica, el valor instantáneo de la portadora cambia de acuerdo con las variaciones de amplitud de la señal moduladora, cabe mencionar que la frecuencia de la portadora se mantiene constante durante todo el proceso de modulación. Un incremento o disminución en la amplitud de la señal moduladora causará el correspondiente aumento o disminución en los picos positivo y negativo de la amplitud de la portadora.

AM es una forma de modulación relativamente no costosa y de baja calidad, que es usada para la transmisión comercial tanto en señales de audio como de video. La banda comercial de AM se extiende desde los 535 a 1605 [Khz.]. La transmisión comercial de televisión se divide en tres bandas (dos en VHF y una en UHF). Los canales bajos de VHF son del 2 al 6 (54 a 88 [MHz]), los canales de altos de VHF van del 7 al 13 (174 a 216 MHz), y los canales UHF van del 14 al 83 (470 a 890 MHz). La amplitud modulada es también usada para las comunicaciones de dos vías, como lo es la radio CB (Banda Ciudadana, por sus siglas en inglés) que va de los 26.965 a 27.405 MHz. Se afirma que es de no costosa por que su demodulación es muy simple, y por consiguiente, los receptores son sencillos y baratos.

Modulación angular ^[1]

FM y PM son ambas formas de modulación de ángulo. Esta técnica fue introducida por primera vez en 1931 como una alternativa a la modulación en amplitud, ya que se sugirió que si a una onda se le modula su ángulo, esta sería menos susceptible al ruido, y consecuentemente, se podría mejorar la calidad de las comunicaciones por radio. Se tiene una modulación de ángulo, cuando el ángulo de fase de una onda sinusoidal es variado con respecto del tiempo. En esencia, la diferencia entre modulación de fase y modulación de frecuencia, recae en que propiedad (fase o frecuencia) que se esta variando directamente por la señal moduladora ya que cuando la frecuencia de la portador es variada, también varía la fase y viceversa, así, podemos decir que FM es indirectamente PM y que PM es indirectamente FM. En ambos casos la amplitud de la portadora permanece constante.

En modulación en frecuencia, como la amplitud de la señal de información varía, produce corrimientos proporcionales en la frecuencia de la portadora. A medida que se incrementa la amplitud de la señal moduladora, aumenta la frecuencia de la portadora y viceversa. Una disminución de la amplitud de la señal moduladora aumenta la frecuencia de la portadora arriba de su valor central, mientras que un decremento en la amplitud de la moduladora disminuye la frecuencia de la portadora por debajo de su valor central. A medida que varía la amplitud de la señal moduladora, la frecuencia de la portadora cambia de arriba a abajo de su valor normal o de reposo cuando no hay modulación.

Por el otro lado, cuando la cantidad de corrimiento de fase de una portadora de frecuencia constante se hace variar de acuerdo con la señal moduladora, la salida resultante es una señal modulada en fase. Cuando la señal moduladora se hace positiva, la cantidad de retraso de fase y, por lo tanto, el retraso de la salida de la portadora, aumentan con la amplitud de la señal moduladora. El resultado a la salida es el mismo que si la frecuencia constante de la portadora se hubiera estirado, o que su frecuencia hubiera disminuido. Cuando la señal moduladora se hace negativa, el corrimiento de fase se torna en adelantado. Esto causa que la onda senoidal de la portadora se acelere de manera efectiva o comprimida. El resultado es el mismo que si se hubiera incrementado la frecuencia.

Mientras que la modulación en frecuencia encuentra aplicación en gran cantidad de sistemas de comunicación, la modulación en fase no tiene tantas aplicaciones, esto debido a la dificultad que requiere construir un dispositivo demodulador de fase.

La radiodifusión FM va de 88 a 108 MHz. La señal de audio para un programa de TV se transmite vía una portadora separada de FM, localizada exactamente 4.5 MHz por arriba de la frecuencia portadora visual en transmisión de televisión, la información de audio modula en frecuencia a la subportadora de sonido, que posteriormente se une a las restantes componentes de la señal de TV para modular en AM la portadora del canal correspondiente. También, en la navegación aérea, los sistemas como el DVOR (VOR Doppler) simulan una antena giratoria que, por efecto Doppler, modula en frecuencia la señal transmitida.

Los dos tipos de modulación mencionados anteriormente han sentado las bases de la radiodifusión. Con el tiempo se construyen cada vez más dispositivos que trabajan utilizando dichos procedimientos. Aun así, se busca que cada vez se puedan transmitir más datos con mucha mejor calidad, es por eso, que poco a poco se ha ido optando por una transición hacia las tecnologías digitales, que en comparación con lo analógico, nos permiten transmitir mayor cantidad de información, con mejor calidad y alcance, y a precios más baratos.

2.2. Descripción del sistema de Radiodifusión Digital

La modulación digital proporciona ventajas en relación a la analógica al ejecutar este proceso en una señal. La modulación al ser digital, proporciona más capacidad de información, compatibilidad con servicios digitales de datos, alta fiabilidad en la reconstrucción de los datos, lo que conlleva a una mejor calidad en las comunicaciones.

La modulación digital ha ayudado a sobrellevar la necesidad de compartir el espectro de RF con una basta cantidad de servicios existentes, ya que los esquemas de modulación permiten manejar mayores cantidades de información que los esquemas de modulación analógicos.

A continuación, se describen los diferentes sistemas de radiodifusión digital, actualmente disponibles.

2.2.1. Sistema DAB (Digital Audio Broadcasting).

El sistema DAB es una tecnología de radiodifusión digital utilizada en su mayoría en Europa. Los primeros servicios de DAB se inician en septiembre de 1995 en el Reino Unido por la BBC y en Suecia por la Swedish Broacasting Corporation. Un cuerpo técnico bajo el nombre de “Consorcio Eureka 147”, inició originalmente el sistema DAB Dicho proyecto, desarrolló un nuevo sistema de transmisión digital que recibió el reconocimiento de la ITU en su recomendación ITU-R BS. 1114. Por el otro lado, la ETSI lo ratifica como estándar en el documento ETS 300 401 ^[2].

Características generales ^[2]

El sistema DAB 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. Así, sus características y ventajas principales sobre la radiodifusión tradicional son:

- Es un sistema eficiente en la utilización del espectro y la potencia. Utiliza un único bloque para una red internacional, nacional, regional o local. Esto, gracias a que 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.
- Mejora la recepción superando los efectos que la propagación multitrayecto, debida a las reflexiones en edificios, montañas, etc., produce en los receptores estacionarios, portátiles y móviles y se protege la información frente a interferencias y perturbaciones. Cabe mencionar que estas mejoras se logran mediante el sistema de modulación COFDM que utiliza un sistema de codificación para distribuir la información entre un elevado número de frecuencias.
- Su distribución se puede realizar en redes terrestres, por satélite, híbridas (satélite con complemento terrestre) y de difusión por cable, utilizando diferentes modos que el receptor detectará automáticamente.
- La calidad de sonido es equivalente a la de un disco compacto. Esto gracias al estándar MPEG Audio Capa II.

- Multiplexación. Es posible multiplexar varios programas y servicios de datos para formar un bloque y ser emitidos juntos, obteniéndose idéntica área de servicio para todos ellos. Cada uno de los bloques tiene una capacidad útil de aproximadamente 1,5 Mbit/s lo que, por ejemplo, permite transportar 6 programas en estéreo de 192 kbit/s cada uno, con su correspondiente protección, y varios servicios adicionales.
- Codificación de canal con entrelazado complejo en tiempo y frecuencia para control de errores de transmisión utilizando distintas familias de códigos convolucionales.
- Los servicios son flexibles pudiendo así, estructurarse y configurarse dinámicamente. Es decir, una emisora de radio puede emitir usando diferentes velocidades en diferentes horarios del día.
- El canal de información transporta la configuración del múltiplex, información de los servicios, fecha y hora, servicios de datos generales como radiolocalización, sistema de aviso de emergencia, sistema de posicionamiento global y sistema de tráfico. Los 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, etc. La capacidad del PAD es ajustable
- Servicios adicionales. Son servicios que van dirigidos a un grupo reducido de usuarios como, por ejemplo, envío de imágenes y textos a tableros de anuncios electrónicos, etc. Todos estos datos se reciben a través de una pantalla incorporada al receptor. Puede ofrecer Acceso Condicional (CA) para servicios de pago aunque la administración específica del suscriptor no forma parte del estándar Eureka 147.

Es importante mencionar que parámetros como la eficiencia en la utilización del espectro y la potencia se consiguen intercalando señales de varios programas junto a una especial característica de reuso 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.

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 eliminadas de la señal recibida en el receptor. Para lograrlo, se codifican y se multiplexan las señales en OFDM distribuyendo la información entre un elevado número de frecuencias.

Funcionamiento del sistema ^[3]

La Figura 2.1, muestra como cada señal de servicio es codificada individualmente a nivel de fuente, protegida contra errores e intercalada en el tiempo en el codificador de canal. Después, todos los servicios son multiplexados en el *Canal Principal de Servicio* (MSC, por sus siglas en inglés), de acuerdo a una configuración múltiplex que aunque ya está predeterminada puede ser ajustada. La salida del multiplexor es combinada con la información de servicio y de control del múltiplex, la cual viaja en el “*Canal de Información Rápida*” (FIC, por sus siglas en inglés), para así, formar las tramas de transmisión en el multiplexor de transmisión. Finalmente, con ayuda de OFDM

(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) se da forma a la señal, que consiste en un largo número de portadoras. La señal es después superpuesta en la frecuencia apropiada, amplificada y transmitida.

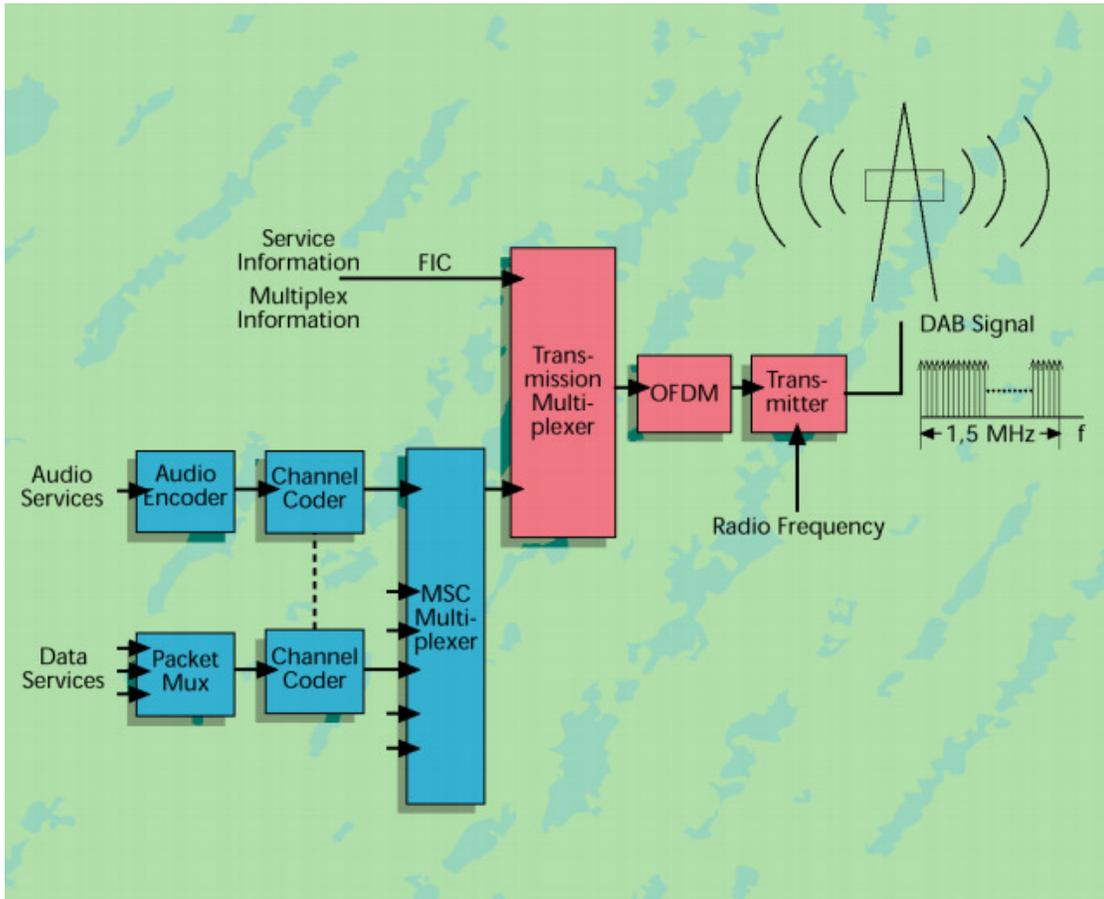


Figura 2.1 Generación de una señal DAB [3]

La Figura 2.2 muestra como en la parte receptora, el paquete DAB es seleccionado en un sintonizador analógico, la salida digitalizada entra al demodulador OFDM y al decodificador de canal para así eliminar errores de transmisión. La información contenida en el FIC es llevada a la interfaz de usuario para la elección del servicio y es usada para ajustar apropiadamente el receptor. La información del MSC es procesada en el decodificador de canal para que de ahí, si lo que se tiene es audio, las señales derecha e izquierda de audio se reproduzcan en el decodificador de audio o, en el caso de la información, ésta se decodifique en el demultiplexor de paquetes.

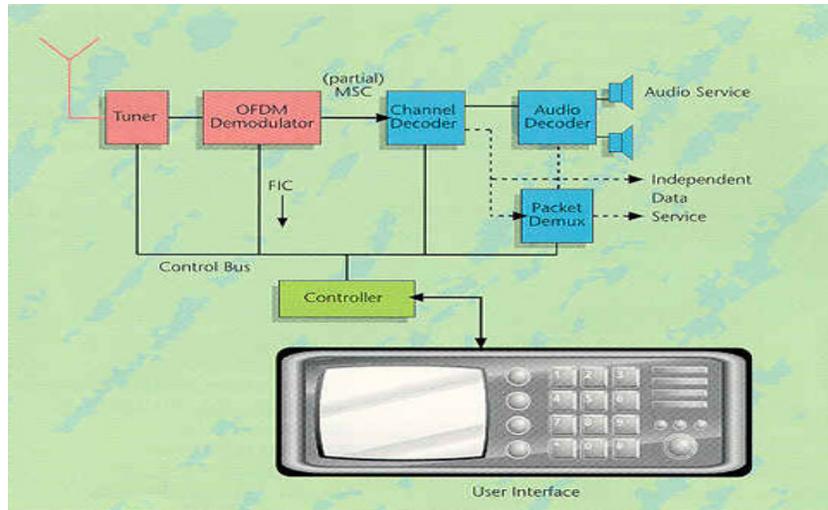


Figura 2.2 Recepción de una señal DAB ^[3]

El sistema DAB+

El sistema DAB+, se tiene su base en el estándar DAB descrito anteriormente pero utiliza un codificador de audio más eficiente. Mientras que DAB, como se menciono anteriormente, utiliza el codificador MPEG Audio Capa II, DAB+ utiliza HE-AAC v2 (mejor conocido como MP4 o AAC+). Esto permite obtener un sonido equivalente o aun mejorado a tasas de bit más bajas ^[3].

2.2.2. Sistema IBOC (In Band On Channel)

El sistema IBOC (In Band On Channel), cuyo nombre comercial es HD Radio, es una tecnología desarrollada por y de la propiedad de la iBiquity Digital Corporation. Dicha propiedad así como la estandarización del sistema, se encuentran definidos en el documento NRSC-5, emitido por el Comité Nacional de Sistemas de Radio de los Estados Unidos. Por el otro lado, en el 2002, la FCC eligió a dicho sistema como “la tecnología que permitirá a los radiodifusores de AM y FM iniciar operaciones digitales rápida y eficientemente” y notificó los procedimientos que permitirían a las estaciones comenzar con transmisiones digitales.

IBOC, está diseñado para permitir una evolución gradual de las actuales transmisiones de radio analógicas a transmisiones completamente digitales. El sistema distribuye datos y servicios digitales a receptores móviles, portátiles y fijos desde transmisores terrestres en los canales de amplitud y frecuencia modulada. Los radiodifusores podrán continuar transmitiendo las señales análogas de AM y FM simultáneamente con las señales digitales IBOC, permitiendo tanto a ellos mismos como a los radioescuchas pasar de radio analógica a digital manteniendo la actual asignación de frecuencias. Dicho modo de transmisión es conocido como modo híbrido. Una vez cumplida la etapa de transición analógico-digital, desaparecerán las emisiones analógicas quedando solo las digitales.

Características generales

La tecnología IBOC puede trabajar en 2 modos:

- **Modo Híbrido:** Envía la señal analógica y digital. En este modo puede recibirse señal en analógico y en digital aunque, como se menciono anteriormente, tiene la desventaja de que la señal digital no se encuentra en su estado óptimo de calidad.
- **Modo Totalmente Digital:** Se transmiten exclusivamente señales digitales. Con éste modo el ancho de banda se reduce a 20 KHz (caso para AM) y la potencia de la señal digital aumenta considerablemente. Para el caso de FM, el hueco dejado por la señal FM analógica se rellena con un bloque secundario.

A continuación, se enumeran algunas características de la tecnología:

- Permite la transmisión de audio y datos.
- La distorsión multitrayecto se corrige con receptores de radio HD (High Density) que ordenan las señales reflejadas, reduciendo así los problemas en la recepción. Cabe mencionar, que dicha señal es compatible con receptores de radio HD y digitales.
- La calidad de la señal de radio en recepción es similar a la de FM.
- El sistema IBOC DSB utiliza modulación OFDM, que a su vez, multiplexa varias subportadoras moduladas en QAM, proporcionando así zonas de cobertura adecuadas en la anchura de banda disponible.
- La modulación empleada, cuando se combina con la codificación FEC y el entrelazado, aumenta aún más la robustez de la señal digital.
- Para AM, la existencia de estructuras conductivas puestas a tierra pueden causar cambios rápidos de la amplitud y la fase. Para corregir esto, el sistema IBOC utiliza técnicas de igualación con el fin de asegurar que se mantiene suficientemente la fase y la amplitud de las portadoras digitales OFDM para asegurar la recuperación apropiada de la información digital permitiendo que el sistema entregue una recepción fiable de audio digital en un entorno móvil.
- Emplea diversidad en el tiempo entre dos transmisiones independientes de la misma fuente de audio para proporcionar recepción robusta durante las interrupciones típicas de un entorno móvil. En el sistema híbrido, la señal analógica sirve como la señal de respaldo, mientras que en el sistema totalmente digital, un tren de audio digital separado sirve como señal de respaldo.
- Proporciona esta capacidad retardando la transmisión de respaldo por un desplazamiento de tiempo fijo de varios segundos con respecto a la transmisión de audio digital. Este retardo es útil para realizar una función de mezcla. Durante la sintonía, la mezcla permite la transición de la señal de respaldo adquirida instantáneamente a la señal principal después que ha sido adquirida. Una vez adquirida, la mezcla permite la transición a la señal de respaldo cuando la señal principal está corrompida. Cuando se produce una interrupción de señal, el receptor mezcla sin fisuras el audio de respaldo que, en virtud de su diversidad en el tiempo con la señal principal, no experimenta la misma interrupción.
- Los sistemas digitales dependen de un entrelazador para dispersar los errores en el tiempo y reducir las interrupciones. En general, los entrelazados más largos

proporcionan mayor robustez a expensas del tiempo de adquisición. La característica de mezcla proporciona un medio de adquirir rápidamente la señal de respaldo al sintonizar, o la readquisición sin comprometer todo el funcionamiento.

Funcionamiento del Sistema IBOC ^[12]

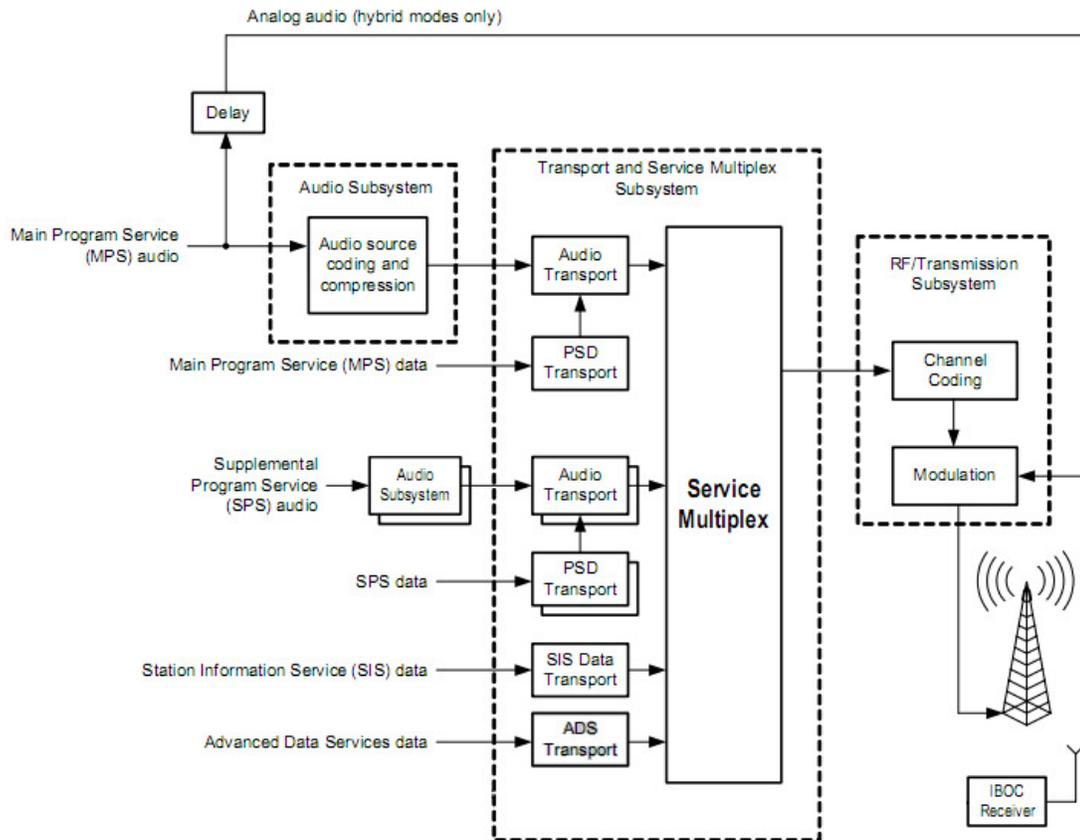


Figura 2.3 Funcionamiento del sistema IBOC

El sistema acepta como entrada audio digital comprimido y utiliza técnicas de procesamiento de señales en banda base como el entrelazado y el FEC para incrementar la robustez de la señal en el canal de transmisión. Esto permite una señal de audio de alta calidad en conjunto con información complementaria, que son transmitidas utilizando niveles de potencia y segmentos de banda seleccionados para minimizar la interferencia con señales análogas existentes.

La Figura 2.3 ilustra los tres subsistemas mayores del sistema de radio digital IBOC, estos son:

- Subsistema de transmisión RF.
- Subsistema de transporte y multiplex de servicio.
- Subsistema de entrada de datos y de audio.

Subsistema de transmisión/RF ^[12]

El subsistema de transmisión/RF debe de cumplir con los requerimientos que se muestran en el subcapítulo 4.2.1 de esta tesis tanto para el caso de AM como para el caso de FM. Este subsistema toma el flujo de bits multiplexado aplicándole codificación y entrelazado que es usado por el receptor para reconstruir los datos transmitidos, aun cuando la señal recibida no cuadra exactamente con la señal transmitida a consecuencia de problemas presentados en el canal. El flujo de datos multiplexado y codificado es modulado en sub-portadoras OFDM y después convertido y “subido” a las bandas AM o FM.

Subsistema de transporte y múltiplex de servicio ^[12]

El subsistema de transporte y múltiplex de servicio alimenta la información a ser transmitida en el subsistema de transmisión/RF. Toma el audio y los datos que recibe, lo organiza empaquetes y multiplexa los paquetes en un solo flujo de datos. Cada paquete es identificado como un paquete de datos o audio. Algunos paquetes de datos (por ejemplo los que contienen datos del servicio de programa, que incluye el título de la canción, artista, etc.) son añadidos al flujo de paquetes acarreado su información de audio asociada antes de ser alimentados al multiplexor.

Subsistemas de audio y datos ^[12]

Para el caso de entradas de audio, se debe de realizar codificación de fuente y compresión del servicio de programa principal (MPS) y el servicio de programa suplemental antes de que la información de audio sea alimentada en los subsistemas de transporte. Cada servicio de audio tiene su propia codificación de fuente, compresión y subsistema de transporte.

En el modo híbrido el audio MPD análogo también es modulado directamente sobre una portadora RF para su recepción en receptores analógicos convencionales. El audio análogo MPS no pasa a través del subsistema de transporte de audio y es retardado de tal manera que llegue al receptor casi al mismo tiempo que la señal digital. Esto, como se había mencionado antes, permitirá, una transición de recepción digital a análoga cuando la calidad de la señal recibida no es suficiente para su recepción en audio digital o cuando los paquetes en el MPS PDU están corruptos. Esta capacidad de “flexibilidad”, es también usada para cambios rápidos en el canal, permitiendo al receptor demodular y reproducir la señal análoga en primera instancia y después cambiar a la señal de audio digital.

En cuanto a las entradas de datos, existen dos tipos de entradas de datos al sistema de radio digital IBOC. El primer tipo son los datos del servicio de programa, los cuales incluyen información descriptiva asociada con la programación de audio transmitida. El segundo tipo son los datos de servicio de no-programación, que se refieren generalmente a otras entradas de datos.

2.2.3. Sistema DRM (Digital Radio Mondiale)

El sistema DRM (Digital Radio Mondiale), es un estándar de radiodifusión sonora de radio digital que permite mejorar la calidad de las transmisiones analógicas de la radio en las bandas de Amplitud Modulada. Sus inicios se remontan al año de 1996, en París, donde se da una interesante reunión entre radiodifusores internacionales y fabricantes

que deseaban contribuir con el futuro de la radiodifusión en las bandas por debajo de los 30 MHz (onda corta, media y larga). Poco después en noviembre del mismo año, otra reunión tomo parte pero ahora con más participantes en donde se adquirieron los objetivos y la composición de un nuevo grupo llamado Digital Radio Mondiale. En abril del año siguiente, se realiza la primera reunión formal del grupo en Las Vegas, E.U. para que en el año de 1998, se formen en China el Consorcio DRM. Finalmente, en el 2001, la Unión Internacional de Telecomunicaciones da su ratificación, en la recomendación ITU – R BS. 1514, para que el DRM sea el estándar para radiodifusión por debajo de la banda de los 30 MHz. Dicho estándar se definió en el 2002 en el documento de la ETSI ES 201 980. Hoy en día, el consorcio DRM está formado por más de 80 radiodifusores, proveedores de redes, fabricantes de transmisores y receptores y universidades, y además de tener un despliegue en varias partes del mundo, dicho consorcio ha decidido extender el sistema DRM para operar hasta la banda de los 120 MHz. Dicha extensión tiene el nombre de DRM+ ^[6].

Características Generales ^[5]

El sistema DRM trabaja por debajo de la banda de los 30 MHz (onda corta, media y larga). Se puede ver como un sustituto de la radiodifusión actual en las bandas de AM ya que permite una transición analógica-digital lenta, otra ventaja importante, es que es un sistema abierto y cualquier fabricante puede diseñar y producir equipos permitiendo así una introducción más rápida en el mercado, mayor disponibilidad y mejores precios. La Tabla 2.1, explica el cuadro de frecuencias en el que trabaja:

Tipo de Onda	Rango de Frecuencia	Región ¹
Onda Corta	Serie de bandas entre 2.3 [MHz] y 27 [MHz]	-
Onda Media	526.5 – 1606.5 [kHz].	1 y 3
	525 – 1705 [kHz]	2
Onda Larga	148.5 kHz a 293 kHz	Solo 1
VHF Banda II	88 – 108 MHz	-

Tabla 2.1 – Cuadro de frecuencias de trabajo del sistema DRM

Entre las principales características del DRM se encuentran las siguientes:

- En el receptor radiofónico doméstico, el sistema DRM proporcionará la capacidad de recibir radiodifusión digital (programas radiofónicos, datos relacionados con el programa, otros datos, e imágenes fijas) en todas las bandas de radiodifusión por debajo de 30 MHz. Además, tiene una calidad muy cercana a la proporcionada en FM.
- Utiliza las frecuencias existentes de transmisión AM y está diseñado para acoplarse al plan de frecuencias existente, basado en señales de 9kHz ó 10kHz de ancho de banda. También cuenta con modos que requieren solo 4.5 kHz ó 5 kHz de ancho de banda y modos que pueden tomar ventaja de mayores anchos

¹LA Unión Internacional de las Telecomunicaciones define las siguientes regiones: Región 1: Europa y Norte de Asia; Región 2: America del Norte, America del Sur y Groenlandia; Región 3: Pacífico y Sur de Asia.

de banda (18 kHz ó 20 kHz), permitiendo así al sistema operar a lo largo de cualquier transmisión AM en cualquier mercado del mundo.

- El diseño permite utilizar el sistema DRM con una red a una sola frecuencia (SFN, Single Frequency Network). Proporciona también la capacidad de la conmutación automática de frecuencia (AFS, Automatic Frequency Switching), que es particularmente útil para los organismos de radiodifusión que envían las mismas señales en diferentes frecuencias de transmisión, como suelen hacerlo, por ejemplo, las grandes organizaciones de radiodifusión en ondas decamétricas que emplean AM para aumentar la probabilidad de una buena señal por lo menos en la zona de recepción prevista.
- Para la codificación y modulación de canal se utiliza multiplexación por división ortogonal de frecuencia (OFDM), modulación de amplitud en cuadratura (QAM), junto con entrelazado temporal y corrección de errores sin canal de retorno (FEC) con codificación multinivel (MLC, Multi-Level Coding) basada en un código convolucional. Se utilizan símbolos de referencia piloto para obtener información de igualación de canal en el receptor. La combinación de estas técnicas resulta en un sonido de más alta calidad con recepción más robusta dentro de la zona de cobertura prevista, en comparación con la calidad de la AM utilizada actualmente.
- Emplea codificación de audio avanzada (AAC, del inglés, Advanced Audio Coding), complementada con replicación de banda espectral (SBR, del inglés, Spectral Band Replication) como su codificación digital principal. La SBR mejora la calidad de audio percibida mediante una técnica de frecuencia de banda de base más alta que utiliza información de las frecuencias más bajas como señales de aviso.
- Funciona bien en condiciones de propagación difíciles, tales como la propagación de la onda ionosférica en la banda de ondas decamétricas por trayectos múltiples a larga distancia, y también en condiciones más fáciles, como la propagación de la onda de superficie en la banda de ondas hectométricas. En este último caso, se utilizan al máximo los algoritmos de codificación produciendo un audio de calidad mucho más alta que la obtenida con AM, porque hay que emplear una cantidad mínima de corrección de errores. Para muchas condiciones de propagación en la banda de ondas decamétricas, la necesidad de lograr un alto grado de robustez reduce la calidad audio comparada con la transmisión digital en ondas hectométricas; no obstante, la calidad audio será aún mejor que la calidad actual.
- Los costos de transmisión no son más altos que los de radiodifusión analógica además de que los receptores analógicos pueden ser fácilmente convertidos a receptores digitales.
- Permite la utilización de servicios de envío y almacenamiento (Push and Store Services) como lo son ficheros de audio, ficheros de texto, imágenes fijas, EPG (Electronic Programme Guide) y servicios de localización como el UMIS (Universal Mobile Information System).

La tecnología ha sido desarrollada para operar junto con otras tecnologías de radio digital y en el campo de los receptores, el futuro seguramente recae no solo en dispositivos que sean compatibles con un solo estándar técnico sino que integrarán partes híbridas que permitirán trabajar en las bandas análogas y que puedan decodificar

señales de DAB y DMB. La integración de estas capacidades en estos dispositivos híbridos puede ser alcanzada a un costo marginal, añadiendo muy poco costo al consumidor.

Funcionamiento del sistema [5]

La Figura 2.5 describe el flujo general de las diferentes clases de información (audio, datos, etc.) desde la codificación, hasta un transmisor DRM. A la izquierda hay dos clases de información de entrada:

- Audio y datos codificados que están combinados en el multiplexor de servicio principal.
- Canales de información que no se multiplexan denominados canal de acceso rápido (FAC, Fast Access Channel) y canal de descripción de servicio (SDC, Service Description Channel).

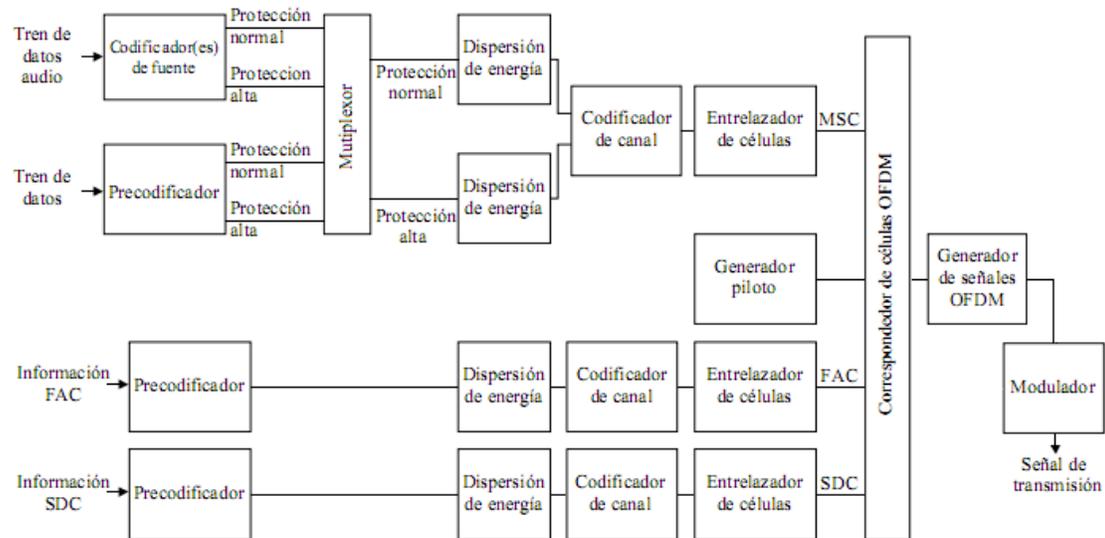


Figura 2.5 - Diagrama de bloques de entrada a un transmisor DRM.

El codificador de fuente de audio y los precodificadores de datos aseguran la adaptación de los trenes de entrada a un formato digital apropiado. Su salida puede comprender dos partes que requieren dos niveles diferentes de protección dentro del siguiente codificador de canal. El multiplexor combina los niveles de protección de todos los servicios de datos y audio. La dispersión de energía proporciona un complemento determinístico y selectivo de bits para reducir la posibilidad de que patrones sistemáticos resulten en una regularidad no deseada de la señal transmitida. Al llegar al codificador de canal, este añade información redundante para la corrección de errores y define la correspondencia de la información codificada digital con células QAM. El sistema tiene la capacidad, si el radiodifusor lo desea, de transportar dos categorías de bits, estando una categoría mejor protegida que la otra.

El entrelazado de células dispersa las células QAM consecutivas en una secuencia de células, casi aleatoriamente separadas en tiempo y en frecuencia, con el fin de proporcionar un elemento adicional de robustez en la transmisión del audio en canales

dispersivos en tiempo y en frecuencia. El generador piloto inyecta información que permite que el receptor obtenga información de igualación de canal, logrando así la demodulación coherente de la señal. La función del correspondedor de células OFDM es recopilar las diferentes clases de células y las colocarlas en una rejilla de tiempo-frecuencia. El generador de señales OFDM transforma cada conjunto de células con el mismo índice temporal a una representación de la señal en el dominio temporal, que contiene una pluralidad de portadoras. El modulador convierte la representación digital de la señal OFDM en la señal analógica que será transmitida por el transmisor.

El múltiplex total del sistema DRM consiste en tres canales: el MSC, el FAC y el SDC. El MSC contiene los servicios, audio y datos. El FAC proporciona información sobre la anchura de banda de la señal y otros parámetros y se utiliza también para permitir la exploración rápida de la información de selección de servicio. El SDC da información al receptor sobre cómo decodificar el MSC, cómo hallar fuentes alternas de los mismos datos y da atributos a los servicios dentro del múltiplex.

El múltiplex MSC puede contener hasta cuatro servicios, cualquiera de los cuales puede ser audio o datos. La velocidad binaria bruta de cada servicio depende de la anchura de banda de canal y del modo de transmisión que se utilicen. En todos los casos se divide en tramas de 400 ms. La estructura del FAC se establece también alrededor de una trama de 400 ms. Los parámetros de canal se incluyen en cada trama FAC mientras que los parámetros de servicio son transportados en tramas FAC sucesivas, un servicio por trama. Los nombres de los parámetros del canal FAC son: bandera básica/mejorada, identidad, ocupación de espectro, bandera de profundidad de entrelazador, modo de modulación, número de servicios, índice de reconfiguración, y reservado para uso futuro, todo lo cual utiliza un total de 20 bits. Los parámetros de servicio dentro del FAC son: identificador de servicio, identificador abreviado, indicación de acceso condicional (CA), idioma, bandera de audio/datos, y reservado para uso futuro, todo lo cual utiliza un total de 44 bits. (Los detalles de estos parámetros, incluido el tamaño de campo, se indican en la especificación del sistema.)

Sin detallar el uso de cada uno de los muchos elementos dentro de los campos del SDC, los nombres de los elementos de SDC son: descripción de múltiplex, etiqueta, acceso condicional, información de frecuencia, información de calendario de frecuencia, información de aplicación, soporte y conmutación de anuncio, identificación de región de cobertura, información de fecha y hora, información de audio, información de copia FAC y datos de enlazado. Además de transportar estos datos, el hecho de que el SDC es insertado periódicamente en la forma de onda se aprovecha para permitir la conmutación sin fisuras entre frecuencias alternas.

2.2.4 Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB) y Digital Multimedia Broadcasting (DMB) ^[6].

Tanto ISDB como DMB, son estándares para transmisión de servicios multimedia para recepción móvil, ellos, basados en tecnologías de transmisión digital de audio. A continuación, se describe de una manera breve a los dos sistemas.

Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB)

ISDB es mantenido por la organización Japonesa ARIB. Los estándares de ISDB son ISDB-S (para televisión por satélite), ISDB-T (terrestre), ISDB-C (cable) y la banda de radiodifusión móvil de 2.6 GHz, todos ellos se basan en la tecnología de codificación de audio y video MPEG-2.

El estándar para radiodifusión terrestre, se divide a su vez en dos, ISDB-T y ISDB-Tsb, cuyos usos principales se dan para la recepción móvil en las bandas de TV. El servicio para la recepción digital lleva por nombre 1seg. En su mayoría, es muy parecido a otros estándares digitales, como lo es el Eureka 147, que como sabemos, usa redes de transmisión de una sola frecuencia.

Características generales

El sistema dota de flexibilidad, capacidad de expansión y comunidad de elementos a la radiodifusión de información multimedia que utiliza redes terrenales, es un sistema robusto y utiliza un tipo de modulación llamada BST-OFDM, entrelazado bidimensional frecuencia-tiempo y códigos de corrección de errores concatenados.

El sistema consiste en uno o tres segmentos OFDM, por lo que la anchura de banda del sistema es alrededor de respectivamente 500 kHz o de 1,5 MHz, dispone de una amplia variedad de parámetros de transmisión, tales como el esquema de modulación de portadora, las velocidades de codificación del código de corrección de errores interno y el entrelazado en longitud y en el tiempo. Algunas de las portadoras se asignan como portadoras de control que transmiten la información sobre los parámetros de transmisión, dichas portadoras de control se denominan portadoras TMCC. Puede utilizar métodos de codificación de audio de alta compresión tales como Capa II MPEG-2, AC-3 y AAC MPEG-2. Tiene comunidad de elementos e interoperabilidad con todos los otros estándares de la familia ISDB.

Digital Multimedia Broadcasting (DMB) ^[7]

Es estándar DMB ha sido desarrollado en Corea, siguiendo el modelo europeo DAB. Al igual que ISDB, es la nueva generación de servicios digitales de radio y teledifusión para sistemas de comunicaciones móviles y portables. Esta tecnología, permite reproducir audio estéreo de alta calidad y video en tiempo real, aun cuando el receptor móvil vaya a una velocidad de 200 Km/h. Existen dos modalidades de DMB, la que opera vía satélite (S-DMB) y la que utiliza el medio terrestre (T-DMB).

Características generales

Ya que el sistema esta basado en el modelo DAB, los dispositivos que cuenten con dicha tecnología pueden recibir las transmisiones de DMB simplemente con añadir un codificador de video.

Entre sus beneficios se encuentran:

- Un amplio rango de servicios de interactivos y de TV difundidos simultáneamente en un mismo múltiplex (video, DAB y DAB+, descarga de archivos (“podcasting”), guía de programación electrónica).

- Recepción robusta de televisión móvil, a velocidades de movimiento del receptor mayores a 300 km/h.
- El contenido multimedia es distribuido sin el riesgo de una congestión.

DMB, demanda menor espectro que otros estándares de televisión móvil, los cuales típicamente usan bloques de 6-8 MHz. En contraste, DMB puede ofrecer servicios de TV y Radio dentro de un múltiplex de solo 1.5 MHz. En tanto que este espectro distribuiría un rango de aproximadamente de 7 servicios DMB, los servicios extra pueden hacerse disponibles simplemente añadiendo nuevos multiplexajes. Además, DMB tiene la ventaja de ser transmitido en la Banda III o en la Banda L, donde se le da mayor potencia al transmisor y se tiene una mas amplia cobertura. Otros estándares de televisión móvil deben usar las bandas de IV o V de UHF. Como resultado, las potencias de transmisión son bajas y las áreas de cobertura de un solo transmisor son típicamente pequeñas.

DMB usa codificación avanzada de servicios de video, codificación para servicios de audio BSAC o HE-AAC V2 y BIFS para servicios interactivos de datos. Todos este flujo de datos codificado, es multiplexado en paquetes MPEG-2 TS. Para incrementar la robustez necesaria, especialmente para la recepción móvil, se aplican un esquema de codificación adicional (codificación Reed – Solomon) y entrelazado convolucional al flujo de datos MPEG-2. El entrelazado de byte los paquetes TS protegidos contra errores son transmitidos mediante la tecnología DAB.

2.3 Radio satelital

La radio satelital, se basa en señales digitales de radio difundidas mediante una red de satélites para así, ofrecer una mayor cobertura que la permitida por el servicio de radiodifusión terrestre. En Norte América, utiliza la banda S de 2.3 GHz y generalmente comparte la banda L de 1.4 GHz con el servicio DAB en estaciones ubicadas en otros lugares. En caso de que la línea de vista del satélite sea bloqueada, se establecen repetidores locales que permiten una mejor recepción. La mayoría de los sistemas existentes (si no es que todos) son propietarios de alguna compañía y utilizan diferentes códecs para la compresión de audio, diferentes técnicas de modulación y diferentes métodos de encriptación y acceso condicional. Además, como cualquier otro sistema de radiodifusión digital, la radio satelital también transmite información asociada al programa, como lo es artista, título de la canción o programa, etc.

La recepción en interiores es otro de los problemas que tienen los sistemas de radio por satélite. Habitualmente es necesario instalar una antena en el exterior del edificio para captar la señal del satélite. Aunque esto es algo asumido para algunos servicios, como la televisión, puede ser percibido como un inconveniente por el usuario potencial de radio por satélite además, en los sistemas basados en satélites de órbita elíptica puede darse el caso de que la calidad de la señal recibida varíe a lo largo del día, al moverse los satélites respecto al receptor.

La cobertura del servicio afecta también al tipo de programación que puede ofrecerse. En radio FM existen muchas emisoras de cobertura reducida que ofrecen programación de carácter local: informativos, música, deportes, etc. En un sistema por satélite la cobertura es global (al menos para áreas del tamaño de un país europeo grande), lo que dificulta ofrecer información local. Por otro lado, esto permite “globalizar” la

información local, de modo que puede resultar interesante distribuir información local relativa a áreas que sean fuente de población desplazada.

2.3.1 Sistema DARS (Digital Audio Radio Services) ^[8]

Digital Audio Radio Service o DARS, se refiere a cualquier tipo de servicio de radio digital. El más popular de ellos es el SDARS o Satellite Digital Audio Radio Service, que es operado por XM Radio y Sirius en EEUU y WorldSpace en Europa y Asia. En Japón funciona desde 2004 el servicio MobaHO! y en Corea del Sur, desde 2005, el servicio S-DMB, los cuales difunden vídeo y datos además de audio.

De estos servicios actualmente en operación, los sistemas japonés y coreano tienen notables diferencias con los americanos, no sólo técnicas en cuanto que difunden vídeo además de audio, sino también de uso en cuanto que las preferencias y costumbres culturales de los usuarios asiáticos y norteamericanos son bastante dispares. En términos similares se podría separar el sistema WorldSpace de los otros dos americanos, XM y Sirius: técnicamente porque el primero no está tan optimizado como los dos segundos para la recepción en terminales móviles.

La idea de estos sistemas es llegar al gran público de una manera sencilla, rápida y no sólo a receptores fijos en cualquier parte del territorio, sino también a receptores móviles sin pérdidas ni interrupciones en la recepción. Quizá esta última característica pueda ser la más llamativa para los usuarios, teniendo una potencialidad de utilización muy importante en automóviles. En cualquier caso, la filosofía del servicio implica la utilización de antenas muy pequeñas, de baja ganancia y omnidireccionales, manejables y fáciles de instalar, a diferencia de otros sistemas anteriores de recepción de señal vía satélite (Figura 2.6).

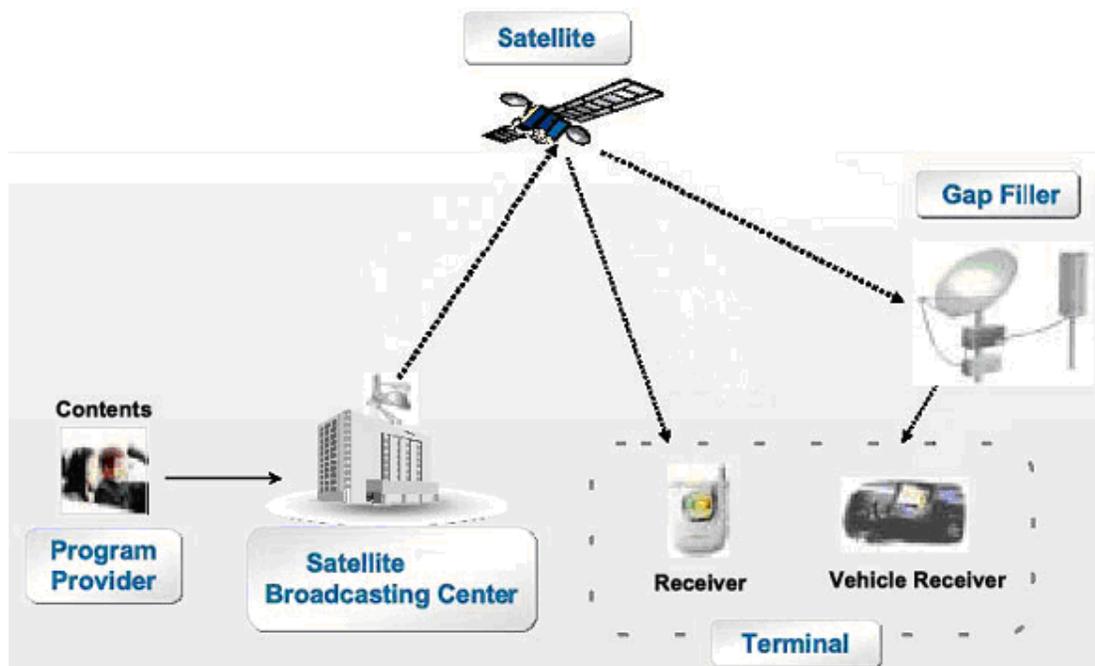


Figura 2.6 Diagrama de transmisión - recepción Radio Satelital [8]

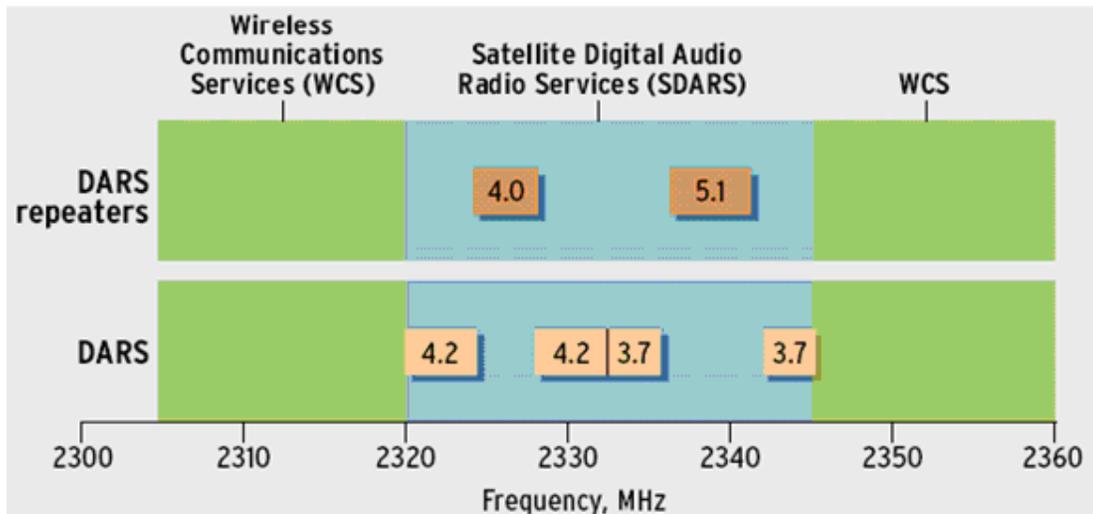


Figura 2.7 Utilización del espectro de frecuencias para DARS [8]

2.3.2 Sistema XM Satellite Radio [8].

XM Satellite Radio es presentado en EEUU como un paso más allá de las tradicionales soluciones de AM y FM. Actualmente tiene cobertura en el territorio continental de EEUU, incluyendo sus aguas costeras, y gran parte de Canadá (aquí a través de una licencia exclusiva para Canadian Satellite Radio Inc.), donde empezó a transmitir a finales de 2005 tras superar un proceso judicial emprendido por varias organizaciones y asociaciones canadienses que se oponían a su implantación. Los principales accionistas de la compañía son General Motors Corp., American Honda Motor Corp., DirecTV, Eastbourne Capital, Hearst Corp. y Baystar Capital.

Características generales

Los contenidos de los diferentes canales son transmitidos a los satélites desde el Centro de Difusión que XM tiene en Washington DC y desde ellos, a su vez, se realiza su radiodifusión a toda la zona de cobertura. El sistema se basa en la utilización de dos satélites geoestacionarios, uno en 85° longitud oeste y el otro en 115° longitud oeste. Cada satélite tiene una potencia de transmisión de 18kW, lo que los convierte en unos de los satélites comerciales más potentes del mundo actualmente. En realidad, XM tiene 4 satélites en órbita ya que, debido a problemas de rendimiento de los paneles solares, los dos primeros que lanzó (XM-1 y XM-2, de la serie Boeing 702) han visto reducida su vida útil drásticamente. XM tiene una extensa red de repetidores terrestres que permite que la señal llegue al interior de los edificios en la mayoría de las ciudades estadounidenses, asegurando una transmisión sin interrupción incluso a receptores móviles. Para asegurar la recepción en el interior de inmuebles en zonas no cubiertas por repetidores terrestres, se hace necesaria la instalación de una antena receptora omnidireccional, de 2,5" x 3", en una ubicación que permita buena visibilidad del cielo en dirección sur. Por su parte, los repetidores necesitan antenas direccionales de alta ganancia para evitar que la recepción de la señal de satélite se vea afectada por la retransmisión de alta potencia que éstos efectúan en frecuencias próximas a la del enlace descendente.

La señal de XM usa un ancho de banda de 12,5 MHz en la banda S: entre 2332,5 y 2345 MHz. XM ha llegado a un acuerdo con la empresa OnStar Corp. en virtud del cual le cede a ésta 128kbps de su ancho de banda para su utilización en vehículos de General Motors, aunque sus propietarios no sean suscriptores del servicio. De forma similar, Honda América mantiene ciertos derechos sobre parte del ancho de banda para transmitir información de tráfico a algunos de los sistemas de navegación que instala en sus vehículos.

Los satélites son GEO y son los siguientes:

- XM-1 Rock - lanzado 8 Mayo 2001 ; peso 4,7 t; actualmente apagado (backup para XM-3)
- XM-2 Roll - 18 Marzo 2001 ; peso 4,7 t; actualmente apagado (backup para XM-4)
- XM-3 Rhythm - 1 Marzo 2005 ; peso 4,7 t; funcionando en la órbita 85° WL
- XM-4 Blues - 30 Octubre 2006 ; peso 5,2 t; funcionando en la órbita 115° WL
- XM-5 - (planeado)

Ofrece alrededor de 247 canales especializados [9], en múltiples estilos musicales (*decades, country, hits, christian, rock, urban, jazz&blues, lifestyle, dance, latin, world y classic*), noticias de prestigiosas cadenas (FOX News, CNN, ABC, CNBC, Bloomberg, BBC, etc), deportes, economía, programas infantiles, comedia, información meteorológica y sobre el estado del tráfico en diferentes regiones y descarga de contenido.

2.3.3 Sirius Satellite Radio ^[8]

Sirius Satellite Radio tiene su sede en Nueva York. Su implantación ha ido siempre por detrás de la de XM. Comenzó dando servicio a ciertas partes de EEUU y a lo largo de 2002 completó la cobertura nacional. Actualmente cubre alrededor de 322 km de aguas costeras norteamericanas y Canadá (a través de la filial Sirius Canada), donde empezó a transmitir a finales de 2005 tras verse envuelta en el mismo contratiempo judicial que XM.

Características generales

Los contenidos de los diferentes canales son transmitidos a los satélites desde el Centro de Transmisión que Sirius tiene en Nueva Jersey y desde ellos, a su vez, se realiza su radiodifusión a toda la zona de cobertura. En la Figura 2.8 se puede ver un esquema del sistema completo.

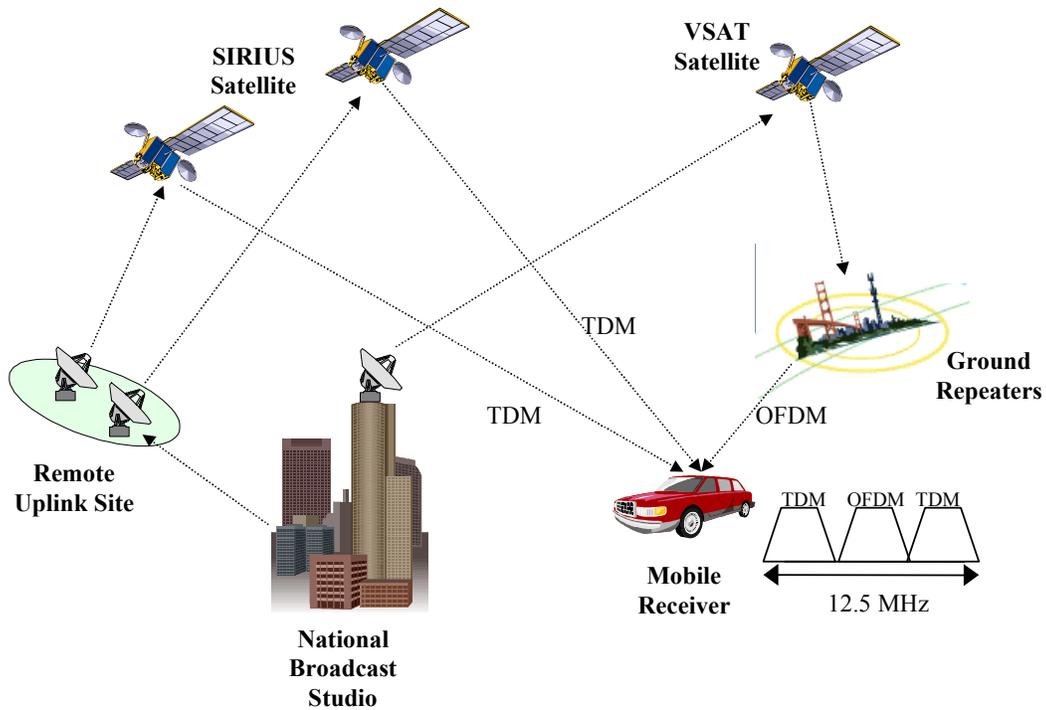


Figura 2.8 Esquema del sistema Sirius [8]

El sistema de satélites de Sirius, está diseñado para conseguir diversidad frecuencial, temporal y espacial, pero para ésta última utiliza una técnica que consiste en la utilización de tres satélites en órbitas elípticas inclinadas y geosíncronas, situadas en planos separados 120°.

El rastro sobre la Tierra de los tres satélites se representa en la Figura 2.9, mientras que las principales características orbitales se tienen en la Tabla 2.2

Eje Mayor	42.164 km
Excentricidad	0,2684°
Inclinación	63,4°
Ángulo de perigeo	270°
Altitud de apogeo	47.102 km
Altitud de perigeo	24.469 km

Tabla 2.2 Características orbitales del sistema Sirius [8]

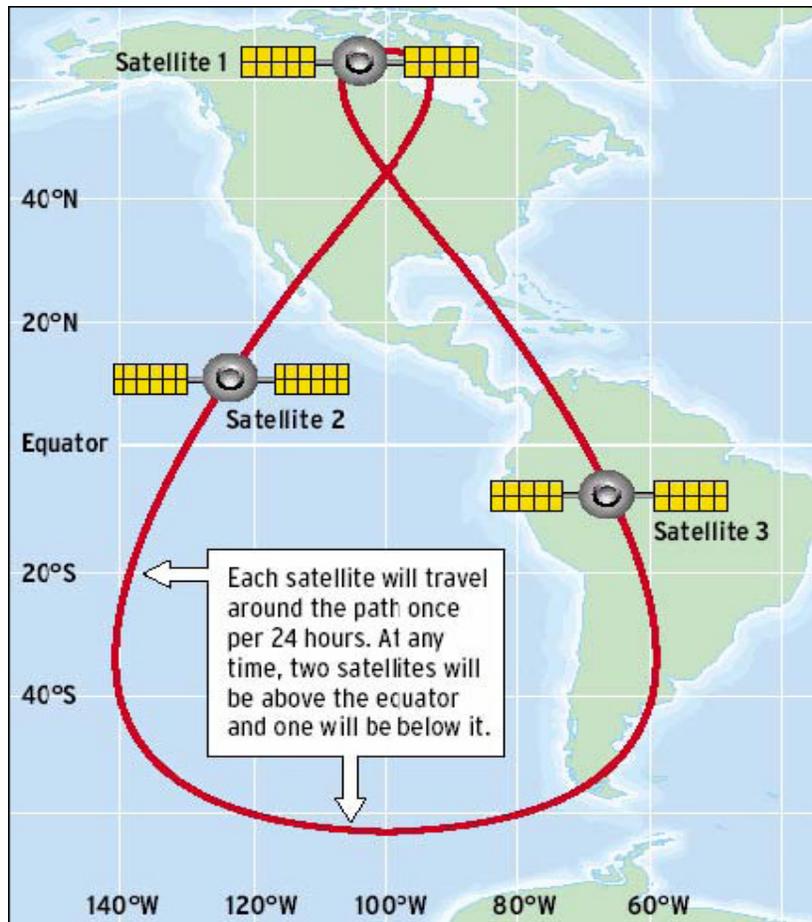


Figura 2.9 Desplazamiento de los satélites Sirius [8]

Con este tipo de órbitas, no geoestacionarias, los satélites se mueven con respecto a la Tierra, en torno a una longitud de 100° pero apareciendo y desapareciendo en latitud cada 16 horas. El trío de satélites consigue que en cada momento siempre haya dos satélites cubriendo EEUU, proporcionando así diversidad espacial.

La señal de Sirius usa un ancho de banda de 12,5 MHz en la banda S: entre 2320 y 2332.5 MHz. Las antenas de los receptores deberían situarse en un lugar con visibilidad del cielo libre de obstáculos. Cuando esto no es posible y se opta por su colocación en la pared de un edificio, por ejemplo, ha de procurarse que ésta esté orientada hacia el centro de los EEUU para reducir la probabilidad de obstrucción de la señal por parte del propio edificio.

Para los canales musicales y análogamente al sistema de XM, el servicio de Sirius permite visualizar en el *display* del receptor el nombre del cantante y el título de la canción que se escucha en cada momento. Asimismo, también tiene convenios con Napster y Yahoo Music para ampliar los contenidos musicales accesibles por sus abonados. Además, ofrece servicios de información de tráfico y clima.

Tiene una oferta de programación de alrededor de 130 canales. También se apoya en cadenas como BBC, Bloomberg, CNN News, CNBC, ABC o Fox News ^[10]

2.3.4 WorldSpace ^[8]

WorldSpace opera con dos satélites geoestacionarios, el AfriStar que da cobertura en África y el centro y sur de Europa y AsiaStar que lo hace en gran parte del sur de Asia y Oriente Medio. En enero de 2006, recibió la autorización de la FCC estadounidense para lanzar y operar el satélite AfriStar-2. Este satélite, que compartirá la posición 21° E en órbita geoestacionaria con su antecesor AfriStar permitirá a Worldspace mejorar la cobertura europea.

Características generales

Opera principalmente en dos modos:

El modo Worldspace, diseñado principalmente para la radiodifusión digital de audio y datos por satélite destinada a receptores fijos y portátiles. Optimiza la calidad de distribución del servicio por satélite en la banda 1 452-1 492 MHz, lo cual se consigue mediante una demodulación PDM-4 (modulación por desplazamiento de fase diferencial cuadrivalente) coherente con codificación de corrección de errores por bloques concatenados y convolucional y amplificación lineal.

El modo Worldspace híbrido (satélite/terrenal), diseñado principalmente para la radiodifusión digital de audio y datos por satélite destinada a receptores en vehículos, portátiles y fijos comunes y económicos. La componente de distribución de satélite del sistema se basa en el mismo transporte de canal de radiodifusión TDM utilizado en el modo Worldspace pero con varios perfeccionamientos importantes destinados a la mejora de la recepción con visibilidad directa en zonas parcialmente ensombrecidas por árboles.

Las características de los satélites AfriStar (21°E) y AsiaStar (105°E) son los siguientes:

- Peso: 2,75 t (aprox)
- Potencia mínima de células solares: 6 kW
- PIRE máxima (para el centro de cobertura): 53dBW
- Tiempo de vida previsto en la órbita: 15 años

Tiene una oferta de alrededor 100 de canales, si bien combina programas locales ofrecidos a pequeñas emisoras de radio con otros internacionales como CNN, BBC, Fox News o Bloomberg. Ofrece asimismo servicios de datos y multimedia personalizados, así como programas de educación a distancia. En concreto, publica las siguientes soluciones: *Data Casting, IP Multicasting, Net2Radio, Distance Learning Technology (CLASS), Digital Content Download, Webcasting, Hybrid Network, Global Information and Emergency Broadcast System y WorldSpace Message Delivery System* ^[11].

CAPÍTULO 3. COMPONENTES DEL SISTEMA DE RADIO DIGITAL

El sistema de radio digital, como se había mencionado anteriormente, se compone de cuatro elementos básicos que hacen posible su alta eficiencia:

1. Codificación de Audio.
2. Control de Errores.
3. Modulación.
4. Multiplexación.

En los siguientes subcapítulos, se dará una descripción de las tecnologías utilizadas para cada uno de dichos elementos. Cabe mencionar, que los diversos estándares difieren en los tipos de métodos que utilizan para la realización de alguno de los cuatro elementos anteriormente descritos por lo que se tratarán de explicar las técnicas más utilizadas.

3.1 Codificación de audio

La codificación de audio se realiza mediante codecs (codificadores – decodificadores), específicamente diseñados para la compresión y descompresión de señales de audio audible para el ser humano como lo son música o conversaciones.

Los codecs de audio cumplen fundamentalmente la función de reducir la cantidad de datos digitales necesarios para reproducir una señal auditiva y son caracterizados por los siguientes parámetros:

- Número de canales: Mono, estéreo o multicanal.
- Frecuencias de muestreo: Acorde al teorema de Nyquist, determina la calidad percibida a través de la máxima frecuencia que es capaz de codificar, que es precisamente la frecuencia de muestreo. Por tanto, cuanto mayor sea la frecuencia de muestreo, mayor será la fidelidad del sonido obtenido respecto de la señal de audio original. Por ejemplo, para codificar sonido con calidad CD nunca se usan frecuencias de muestreo superiores a 44,1 kHz, ya que el oído humano no es capaz de escuchar frecuencias superiores a 22 kHz.
- Número de bits por muestra: Determina la precisión con la que se reproduce la señal original y el rango dinámico de la misma.
- Pérdida: Algunos códecs pueden eliminar frecuencias de la señal original que, teóricamente, son inaudibles para el ser humano. De esta manera se puede reducir la frecuencia de muestreo. En este caso se dice que es un códec con pérdida. En caso contrario se dice que es un códec sin pérdida.
- Tasa de bits: Es el número de bits de información que se procesan por unidad de tiempo, teniendo en cuenta la frecuencia de muestreo resultante, la profundidad de la muestra de bits y el número de canales.

MPEG

El comité ejecutivo de la ISO/IEC (International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission) debido a la gran variedad de formatos, optó por crear un estándar internacional MPEG (Moving Pictures Expert Group) para codificación de audio y video. En particular, se define una trama de bits comprimida, la cuál implícitamente define un descompresor. Factores de compresión de 24 o más debidos a técnicas de 'codificación perceptual' siguen manteniendo virtualmente la misma calidad en el sonido; esto es significativamente mejor que reducir la razón de muestreo y la resolución de los muestreos.

Se estandarizan tres esquemas o 'capas' (layers) llamadas I, II, y III para codificación de sonido digital; junto con la información que un codificador tiene que producir y mandar como un flujo de bits válido, así como la manera que puede un decodificador analizar el flujo para producir un sonido.

Utiliza una codificación con pérdida de información, i.e. la onda original no se vuelve a reproducir exactamente; más bien trata de que suene como la original para una persona. Transformando a ésta en sus componentes de frecuencia y eliminando las que están enmascaradas por una más fuerte; empaquetando esta información en un flujo de bits.

MPEG-1 [2]

MPEG-1 trata con canales mono y estéreo a frecuencias de alta calidad de audio (48, 44.1 y 32 kHz). La eficiencia y complejidad del codificador y decodificador se incrementa conforme se avanza de capa. Y para el decodificador entre cada esquema un número mayor indica que puede decodificar no sólo las corrientes de bits de su capa, sino todas las precedentes.

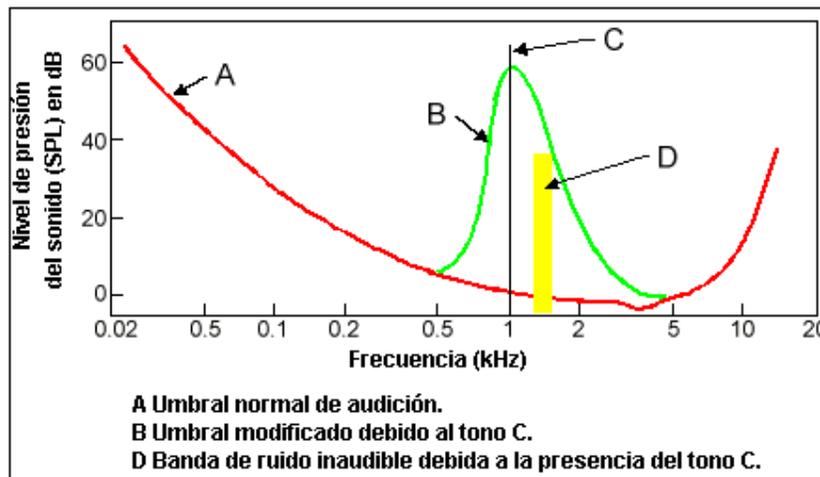


Figura 3.1 Efecto de enmascaramiento del oído humano

La Figura 3.1 muestra un componente fuerte de la señal en aproximadamente 1 kHz (C), que distorsiona el nivel de enmascaramiento (encubrimiento, u ocultación) el cuál define el nivel que un segundo componente de señal (D) debe exceder para ser audible. Si existe un segundo componente, al mismo tiempo y cercano a la frecuencia del primero, entonces para ser audible debe de estar a un nivel de intensidad (B) superior al

primero. Lo que implica que sí es menor, puede ser descartado de la información de audio. Layer I tiene la más baja complejidad y es adecuada para el tipo de aplicaciones donde la poca complejidad del codificador juega un papel importante. Layer II es un poco más compleja, puede eliminar mayor redundancia, aplicar el nivel de saturación psico-acústico más eficientemente, y está dirigida hacia aplicaciones donde un codificador sirve a varios decodificadores. Layer III es aún más compleja y dirigida a aplicaciones que requieran una baja tasa de bits debido a la extracción de información adicional redundante por medio de su resolución de frecuencia mejorada y codificación Huffman.

La codificación específica MPEG consiste en que la señal de sonido digitalizada sea dividida en bloques de 384 muestras para Layer I y 1152 para II y III. Cada uno de estos bloques es codificado dentro de un cuadro MPEG-1. Un flujo de audio MPEG se construye de estos cuadros en sucesión.

Un cuadro consiste de un encabezado y una parte de datos. Un cuadro del Layer III puede distribuir sus datos sobre otros cuadros consecutivos si éstos no requieren de usar todos sus bits. El encabezado contiene información acerca del tipo de layer, la frecuencia de muestreo, el número de canales, CRC (Cyclic Redundancy Check) y demás. Aunque la mayoría de esta información es la misma para casi todos los cuadros, el grupo MPEG decidió que sería mejor darle a cada cuadro su encabezado para simplificar la edición y la sincronización.

Para poder aplicar al mayor número de aplicaciones posibles, MPEG-1 provee una amplia gama de tasas de bits desde 32 kbits/s a 320 kbits/s. El cambiar tasas entre cuadros está explícitamente permitido para que las aplicaciones puedan adaptarse a sus condiciones ambientales.

MPEG-2^[2]

MPEG-2 es sólo un estándar revisado y mejorado del MPEG-1, y se diferencia de éste en tres formas:

1. La extensión LSF (Low Sampling Frequency) para MPEG-1 le permite bajar el rango inicial de la velocidad de la trama a 8 kbits/s, y bajas frecuencias de muestreo (16 kHz, 22.05 kHz, y 24 kHz); dando una mejor calidad de audio a bajas tasas de bits (más de 64 kbits/s por canal).
2. Compatibilidad para el sonido multicanal del MPEG-1, o MPEG-2 BC (Backward Compatible); esto quiere decir que una corriente MPEG-2 BC se adhiere a la estructura del MPEG-1 de manera tal que ésta pueda ser interpretada por un decodificador MPEG-1; con soporte hasta para cinco canales de ancho de banda máximo más uno mejorado de baja frecuencia, o '5.1'.
3. Un nuevo algoritmo de codificación llamado AAC (Advanced Audio Coding). Un flujo AAC ya no puede ser interpretado por un decodificador de audio MPEG-1.

MPEG-2 AAC provee capacidad de hasta 48 canales principales de audio, 16 para efectos de baja frecuencia, 16 para traducción multilinguaje, y 16 para datos. Pueden ser descritos hasta 16 programas, cada uno consistente de cualquier número de

elementos de audio y datos. Se adhiere al mismo paradigma de Layer III, pero agrega nuevas herramientas de codificación y mejoras en los detalles; que resultan en aproximadamente un 30% más de eficiencia en relación a la tasa de bits.

Proceso de codificación:

Para mantener los filtros sencillos a éstos se les aúna un proceso de FFT en paralelo con el filtraje y se usan las componentes espectrales de la FFT como información adicional al codificador. De esta forma se logra compensar por la menor resolución a bajas frecuencias del banco de filtros sub-banda; obteniendo una mayor resolución donde el oído es más sensible.

Un filtro de análisis sub-banda debe de ser usado para dividir la señal en 32 sub-bandas igualmente espaciadas; i.e. se divide el espectro de frecuencias (20 Hz a 20 kHz) en 32 sub-bandas. El codificador calcula el efecto de ocultación de un tono en alguna sub-banda y encuentra si existe un nivel de umbral de ocultación para toda la sub-banda; si lo hay entonces existe una razón aceptable de señal a ruido (el cociente entre la potencias de la señal recibida a la del ruido en el receptor). Si hay efecto de ocultación en las bandas aledañas su efecto decrecerá con la distancia de la banda codificada. El codificador considera la sensibilidad del oído para varias frecuencias de manera que se tenga el pico en el máximo de su sensibilidad, alrededor de los 2 a los 4 kHz (la misma región que la voz humana ocupa).

El codificador calcula los efectos de ocultación por un proceso iterativo hasta que se agote el tiempo preestablecido. Ya sea que se implemente o que se empleen más bits en el cambio menos inoportuno. En ciertos casos el tiempo de ventana de algunos codificadores puede no ser suficiente; ya que el efecto de ocultación ocurre temporalmente antes y después de un sonido fuerte. Esto se presenta normalmente en una situación con transitorios donde existen grandes diferencias en el nivel de sonido por arriba del cuadro codificado. Como la ocultación es calculada a partir del sonido más fuerte y las partes débiles serán despreciadas como ruido de cuantificación; esto se percibe como ruido de eco en el oído

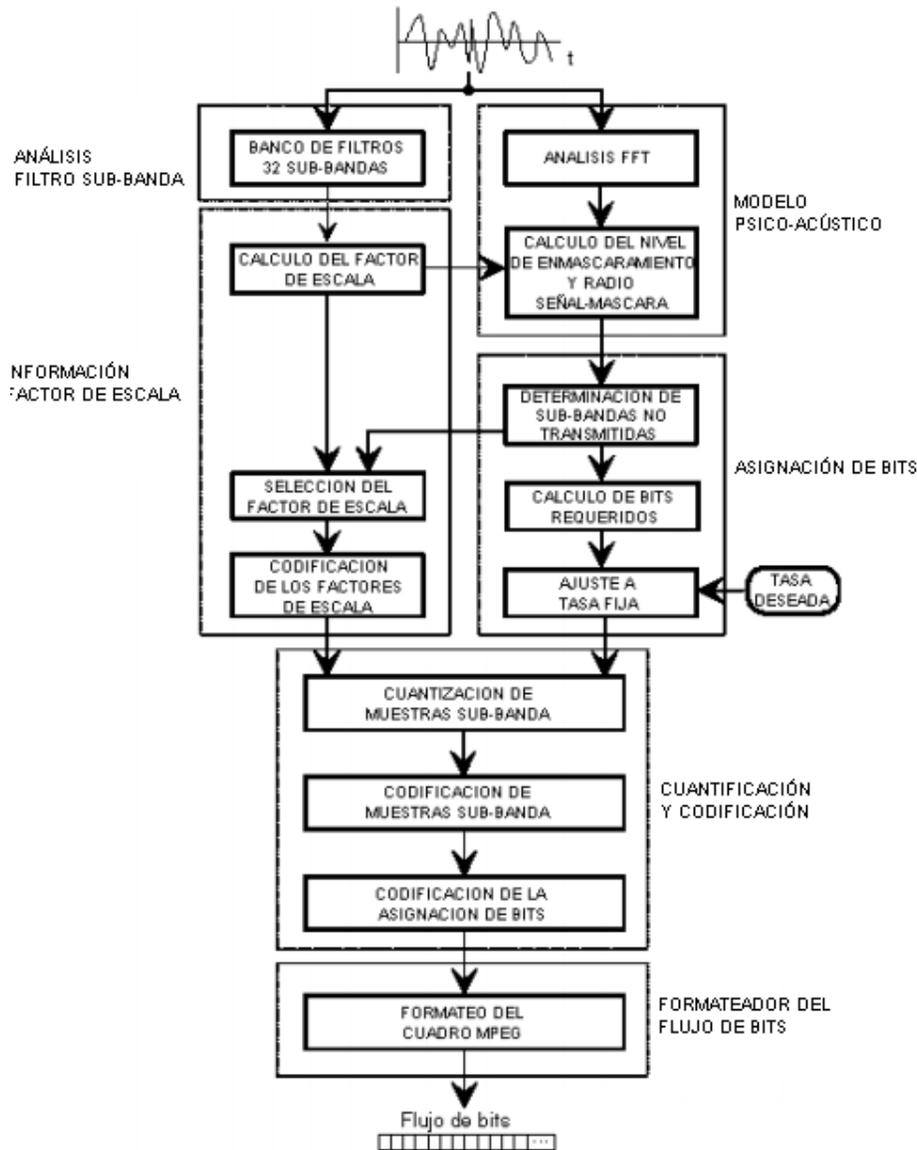


Figura 3.2 Diagrama de la codificación de audio MPEG Capa II

- AAC+ (MPEG-4 HE-AAC v2) [3]

La codificación de audio avanzada de alta eficiencia, también conocida como **AAC+**, es una combinación del AAC-LC (Baja Complejidad) con el SBR (Replicación de Banda Espectral), que reconstruye las bajas frecuencias, y el PS (estéreo paramétrico) que mejora la compresión de señales estéreo. Esta combinación logra una calidad estéreo a tasas de datos que van desde los 24kbit/s a 48kbit/s. Es importante señalar que el único sistema que utiliza la combinación AAC + SBR + PS es el DRM, mientras que la combinación AAC + SBR es utilizada solamente por IBOC [4].

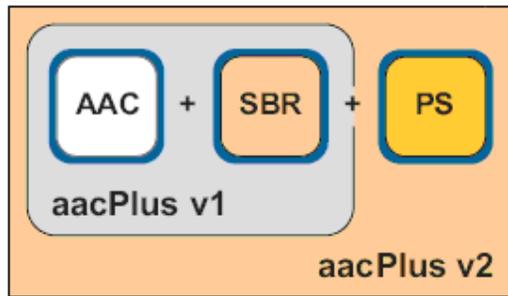


Figura 3.3 Composición del AAC+

El SBR emplea algoritmos que limitan el ancho de banda del audio y funcionan con bajas frecuencias de muestreo además también brinda un alto ancho de banda con muy bajas tasas binarias.

El SBR recrea la banda de frecuencias altas de la señal de audio que se perdió en al codificación. Esto se logra transmitiendo un poco de la información que se perderá en el flujo de bits de audio (“señal de ayuda SBR” de alrededor de 2 kbps), dicha información se procesará en la señal con ancho de banda completo, antes de la codificación y ayudará a la reconstrucción de las frecuencias altas después de la decodificación del audio/voz.

La “señal de ayuda SBR” transmitida con la señal AAC, describe la forma del espectro de audio original en los 6 kHz. El decodificador SBR examina la banda pasante restringida de la señal AAC de manera dinámica y, con la “señal de ayuda SBR”, detecta las armonías de frecuencia de audio superiores faltantes. Estas armonías suplementarias se combinan enseguida con las señales de la banda inferior. Al final, el escucha entiende las frecuencias combinadas que se extienden ahora hasta los 20 kHz (máxima frecuencia audible al oído humano), en lugar de la banda pasante de AAC de 6 kHz.

Un último componente llamado codificador PS está basado en la trama de trabajo del SBR y se emplea para mejorar el rendimiento de la codificación estéreo con una tasa binaria baja. Este sistema también utiliza una técnica de síntesis dentro del decodificador de audio y mejora la señal mono AAC asociándole un ambiente estereofónico convincente. Esta síntesis necesita también una “señal de ayuda” adicional de 2 kbps formada en el codificador de audio con la señal estéreo original.

AAC fué diseñado para reparar las imperfecciones del formato MP3 (que incluye MPEG-1 y MPEG-2). Algunos de ellos son los siguientes^[4]:

- Más frecuencias de muestreo que MP3 (desde 8KHz hasta 96 KHz).
- Hasta 48 canales (recordemos que MP2 soporta hasta 5.1 canales).
- Tasas de bits arbitrarias y tramas de longitud variable.
- Un banco de filtros más eficiente.

3.2 Técnicas de control de errores

La codificación para corrección de errores (ECC) es una tecnología importante para las comunicaciones digitales, ya que es así como se determina que tan robusta será la recepción para una determinada fuerza de la señal. Una ECC mas eficiente, se traduce en una recepción mas robusta.

Codificación convolucional puntual (Punctured Convolutional Encoding) ^[5]

Un código convolucional es un tipo de código de detección de errores, es decir, solo detecta pero no corrige errores excluyéndolo así de la familia de los ECC. Los códigos convolucionales son comúnmente especificados por tres parámetros; (n,k,m).

n=Número de bits de salida.
 k=Número de bits de entrada.
 m=Número de registros de memoria.

La cantidad k/n es conocida como tasa de codificación, y es una medida de la eficiencia del código. Comúnmente el rango de valores de k y n van de 1 a 8, el valor de m va de 2 a 10 y la tasa de codificación va de 1/8 a 7/8 excepto para aplicaciones de espacio profundo en donde las tasas de codificación son tan bajas como 1/100. Cabe mencionar, que aunque en función y aplicación, existen códigos muy variados, todos ellos siguen esta misma notación.

Existe otro parámetro conocido como longitud de restricción ($L = k(m - 1)$) y representa el número de bits en el codificador de memoria que afecta la generación de los n bits de salida.

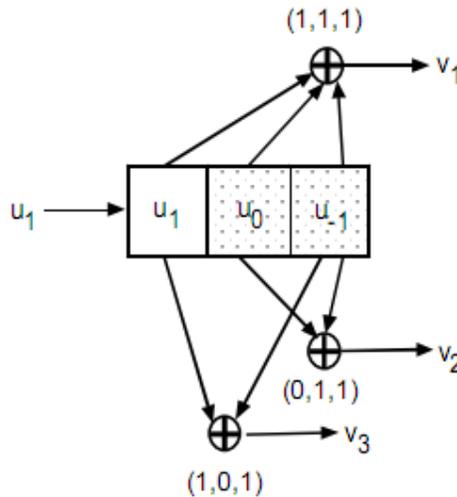


Figura 3.4 - Ejemplo de un código convolucional de tres registros de memoria.

La figura describe un código convolucional de tres registros de memoria, un bit de entrada y tres bits de salida. Este es un código de tasa 1/3. Cada bit de entrada es codificado en 3 bits de salida. La longitud de restricción es 2. Los tres bits de salida son generados por los tres sumadores módulo-2, añadiendo una cierta cantidad de bits en los registros de memoria. El proceso de selección de los bits que serán añadidos para generar la salida es realizado por el polinomio generador (g) para ese bit de salida. Por ejemplo, el primer bit de salida tiene un polinomio generador de (1, 1, 1).

$$v_1 = \text{mod } 2(u_1 + u_0 + u_{-1})$$

$$v_2 = \text{mod } 2(u_0 + u_{-1})$$

$$v_3 = \text{mod } 2(u_1 + u_{-1})$$

En Radio Digital, en especial DAB, se aplica la codificación convolucional a cada una de las fuentes de datos que alimentan el múltiplex para asegurar una recepción fiable. El proceso de codificación supone añadir deliberadamente redundancias a las ráfagas de datos de la fuente (utilizando una longitud de restricción de 7). Con esto se obtienen ráfagas de datos brutos.

En el caso de una señal de audio, se da una mayor protección a algunos bits codificados en la fuente que a otros, siguiendo un esquema preseleccionado que se conoce como perfil de protección contra errores desigual (UEP), lo que significa que las partes de la trama de audio que son más susceptibles de errores y que causan distorsiones audibles, son mayormente protegidas. La velocidad media de codificación, puede adoptar un valor que va desde 1/3 (nivel máximo de protección) a 3/4 (nivel mínimo de protección).

La palabra puntual, se refiere a una variación del método descrito anteriormente, en donde “puncturing” es el proceso de quitar algunos bits de paridad después de haber codificado. Esto tiene el mismo efecto que codificar con un código de corrección de tasa más alta, o menor redundancia. Como sea, con puncturing, se puede utilizar el mismo receptor sin importar cuantos bits han sido removidos, incrementando así la flexibilidad del sistema sin la necesidad de incrementar significativamente su complejidad.

FEC (Forward Error Correction) [6]

El sistema FEC, es un sistema de control de errores por medio del cual el transmisor añade información redundante a sus mensajes. Esto permite al receptor detectar y corregir errores (dentro de un límite) sin la necesidad de pedir al transmisor información adicional.

La fuente digital de información manda una secuencia de k bits de datos hacia un codificador. El codificador inserta bits redundantes (o de paridad), creando una nueva secuencia más larga de n bits de código llamada palabra. En el lado receptor, las palabras son usadas por un decodificador para extraer la secuencia original de información.

El tipo de FEC utilizado en Radio Digital, en especial en DAB+, es Reed-Solomon [7], en donde dados m bits de paridad, dicho código puede corregir errores de hasta m bytes en posiciones conocidas, o detectar y corregir hasta m/2 bytes erróneos en posiciones desconocidas. La máxima longitud de secuencia o palabra que puede ser generada es de 255 bytes, incluyendo bytes de paridad, aunque en la práctica, se utilizan secuencias más cortas. El principio básico para la codificación en Reed-Solomon es encontrar el residuo del mensaje dividido por un polinomio generador G(x).

3.3 Técnicas de modulación [8]

Las técnicas de modulación digital son las siguientes:

- QPSK: Quadrature Phase Shift Keying.

- FSK: Frequency shift Keying.
- MSK: Minimum Shift Keying.
- QAM: Quadrature Amplitud Modulation.

Recordemos que al transmitir una señal por el aire es necesario realizar:

1. La generación de la portadora en el transmisor.
2. La portadora es modulada con la información a ser transmitida. Cualquier cambio detectable y confiable en las características de la señal (amplitud, frecuencia o fase) puede llevar información.
3. En el receptor, las modificaciones o cambios son detectados y demodulados.

Amplitud y fase pueden ser moduladas simultánea y separadamente, pero es difícil de generar y de detectar. En lugar de esto, la señal es separada en componentes independientes I (Inphase) y Q (Quadrature). Estas componentes son ortogonales y no interfieren una con otra.

Las componentes I y Q son una representación rectangular del diagrama polar. En un diagrama polar, el eje I se alinea con la referencia de fase en 0 grados y el eje Q es rotado 90 grados. La proyección de los vectores de la señal en el eje I y Q forman las componentes en cada uno de los ejes (Figura 3.5).

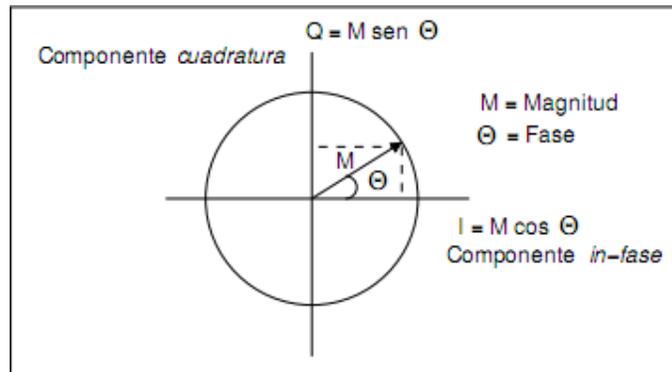


Figura 3.5 Plano I-Q

Los diagramas I/Q son usados frecuentemente porque permiten observar la manera en que las señales de comunicaciones digitales son usadas en un modulador I/Q. En el transmisor, las señales I/Q son mezcladas con un oscilador local. Para generar las señales en cuadratura se realiza un corrimiento en la fase de 90 grados a una de las rutas del oscilador. De esta forma se producen dos señales totalmente independientes. Cuando se combinan, son sumadas a una señal compuesta de salida.

Estas se pueden mandar y recibir con circuitos simples, lo que simplifica el diseño de los receptores digitales. Cuando una de estas señales llega a un receptor, la señal es mezclada con un oscilador local en la frecuencia de la portadora de dos maneras. Una es considerando una fase cero arbitraria y la otra con un corrimiento de 90 grados.

De esta forma se obtienen las señales I y Q. La modulación digital es mas sencilla cuando se usan moduladores I/Q, ya que los datos son mapeados en un número finito de puntos discretos en el plano I/Q.

Estos se conocen como puntos de una constelación. Cuando la señal se mueve de un punto a otro, se produce una modulación de amplitud y fase.

A continuación, se presentan los tipos de modulación utilizados en la radiodifusión digital.

Modulación PSK ^[8]

La modulación PSK (Phase Shift Keying) es una de las más usadas en la transmisión de televisión satelital y puede también ser usada para transmisión terrestre.

La forma más simple de este tipo de modulación digital es conocida como BPSK Biphase Shift Keying, donde la fase de una portadora de amplitud constante se mueve entre cero y 180 grados. En un diagrama I/Q, sólo el estado I tiene dos valores diferentes. Por lo que solo se puede mandar un valor binario (uno o cero). La tasa de símbolos es de un bit por símbolo.

Un tipo más común de modulación de fase es QPSK Quadrature Phase Shift Keying. La cuadratura significa que los cambios de fase de la señal están separados 90 grados. Por conveniencia, el primer punto de la constelación se ubica en los 45 grados, por lo que los demás se encontraran en 135, 225 y 315 grados.

De esta forma solo se requieren 2 valores para I y Q, obteniendo así una tasa de dos bits por símbolo. Se puede notar que en relación al ancho de banda este método es el doble de eficiente que el BPSK. Los diagramas de constelación para BPSK y QPSK se muestran en la Figura 3.5.

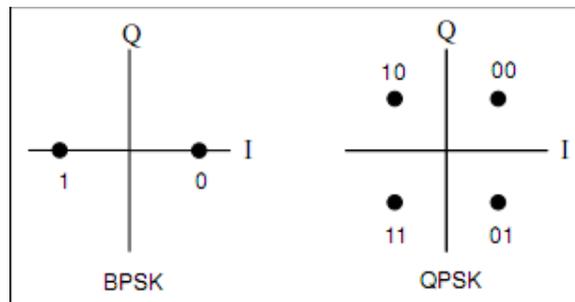


Figura 3.5 Diagramas de constelación para BPSK y QPSK

Cabe recordar que los diagramas de constelación mostrados no pretenden indicar que se manda en una portadora un símbolo y luego otro y así sucesivamente, sino que solo es para facilitar la comprensión del método. Lo que en realidad se realiza es la suma de las señales moduladas para I y Q, para generar solo una señal modulada.

De esta forma la señal al ser modulada tienen que separarse en las componentes I y Q para obtener de nuevo, los bits que formaron el símbolo. En la Figura 3.6 se muestra el diagrama a bloques de un modulador QPSK.

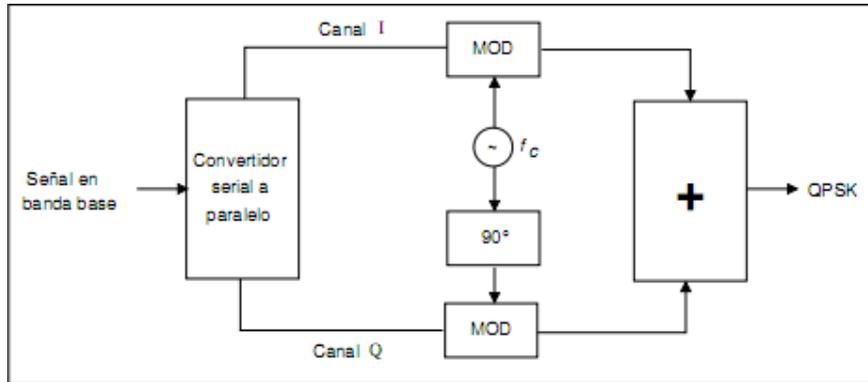


Figura 3.6 Modulador QPSK

Al momento de demodular una señal en el receptor se puede observar que si genera el diagrama de constelación con los símbolos que provienen de la señal demodulada, se mostrarían puntos dispersos alrededor del valor teórico, es decir, la posición no corresponderá exactamente a la que se ubicó antes de la transmisión, debido a que los factores como el ruido tienden a degradar la señal, provocando los cambios de posición en el diagrama.

El diagrama de constelación permite mostrar rápidamente cuantos bits forman un símbolo. Es así que si un diagrama de constelación tiene más puntos que los esquemas anteriores, haría más eficiente el ancho de banda, ya que se transmitirían más bits por símbolos.

Modulación QAM ^[8]

Otro método de modulación es QAM (Quadrature Amplitud Modulation), el cual resulta de la combinación de las técnicas de ASK (Amplitud Shift Keying) y de PSK. Este método es usado en radio digital por microonda, en DVB-C y DVB-T y en modems. Uno de los tipos de QAM es 16 QAM, el cual permite tener 16 estados diferentes. En este se requieren 4 valores para I y cuatro para Q. De esta forma la tasa es de cuatro bits por símbolo. Este tipo de modulación es más eficiente, espectralmente hablando, que el BPSK, QPSK y el 8 PSK. En la Figura 3.7 se muestra el diagrama de constelación del 16 QAM.

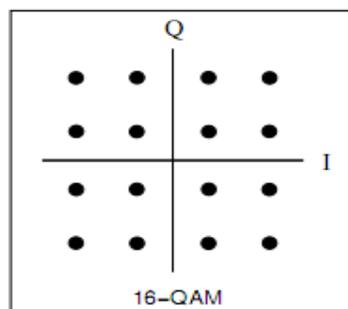


Figura 3.7 Diagrama de la constelación 16 QAM

Otra variación es el 64 QAM, el cual puede tener 64 estados diferentes. La tasa de símbolos para este modo es de 6 bits por símbolo. El límite práctico para este tipo es el 256 QAM, aunque teóricamente nada impide que se pueda tener 512 o 1024 QAM. El problema es que los puntos en la constelación quedan muy juntos, lo cual es más propenso a generar errores debido al ruido o distorsión

Cada vez que se incremente la tasa de símbolos es necesario incrementar la potencia de transmisión, de esta forma mientras la tasa sea más alta será más eficiente espectralmente, pero será más costosa en cuanto a potencia se refiere.

OFDM ^[9]

Esta técnica puede considerarse tanto de modulación como de canalización (multiplexing) y es una técnica de transmisión de multiportadoras en paralelo. La canalización regularmente se refiere a aquellas señales producidas por diferentes fuentes que comparten el espectro del canal. Para el caso del OFDM la canalización es aplicada a señales independientes que son un subconjunto de una señal principal. De esta forma en OFDM la señal es primero separada en canales independientes y moduladas por datos que después son re-canalizados, para generar la portadora OFDM.

OFDM es un caso especial de la técnica de canalización conocida como FDM (Frequency Data Multiplexing), ya que comparten el mismo principio, el cual es el dividir el ancho de banda disponible para el envío de señales independientes.

Como dato importante, cuando la técnica OFDM es usada en conjunto con una codificación de canal, es conocida como COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) y regularmente tienen las siguientes propiedades:

- Resistencia al efecto de multitrayectorias (multipath)
- Resistencia a pequeños cambios en la distorsión de fase y atenuación de la señal (fading)
- Permite el uso de redes de frecuencia única (Single Frequency Networks)
- Hace posible la transmisión de una señal a receptores móviles

El principio del OFDM consiste en paralelizar un flujo de bits y que a su vez, estos modulen a un conjunto de sub-portadoras dentro de un canal. Lo importante en esta técnica radica en que esas portadoras deben ser ortogonales entre si para que no interfieran unas con otras. El hecho que no interfieran, permite sumarlas en una sola portadora y transmitir esta por el canal. El receptor entonces puede descomponer la señal recibida para extraer cada una de las sub-portadoras y posteriormente los bits transmitidos

Esta técnica se creó para superar el problema de aquellos factores que hace que una señal se degrade debido a atenuación o distorsiones de fase. Se propuso extender los datos a transmitir sobre un gran numero de sub-bandas de frecuencia relativamente cercanas. De esta manera, si parte de los datos son perdidos en el proceso de transmisión, la protección de los datos antes de este proceso, haría que se pudieran reconstruir.

Por ejemplo, se puede repartir un flujo de datos de 1 Mbps en 500 flujos paralelos, donde cada uno tendría una tasa de 2 kilobits por segundo (2 kb/s). Cada uno de estos flujos modularán a 500 portadoras espaciadas cada 2 kHz. De esta forma, el ancho de banda ocupado es de 1 MHz.

Los números seleccionados tanto para el espaciamiento entre portadoras como para la tasa de bits tienen que satisfacer el principio de ortogonalidad. Este es un concepto matemático que indica que la consideración de las portadoras debe ser tal que cada una de ellas pueda ser demodulada sin interferencia de cualquiera de las otras. Con esto se evita el problema de la interferencia entre símbolos (Inter Symbol Interference- ISI).

Considerando el ejemplo anterior, si se usa 16 QAM para modular en cada portadora, dado que se tienen 16 estados disponibles, se tienen 4 bits por símbolo. De esta forma, se necesitan transmitir 250 000 símbolos por segundo. Si se escogen 1000 portadoras, la tasa de modulación en cada una debe ser 250 Hz y para que se preserve el principio de ortogonalidad el espacio entre portadoras debería ser 250 Hz.

Así, el ancho de banda requerido es ahora 250 Khz. Teniendo de esta manera, una relación simple entre la tasa de bits, los bits por símbolo, la tasa de símbolos, el espaciamiento entre portadoras y el ancho de banda requerido para el canal ^[9].

Generación de la señal OFDM ^[9]

Antes de generar la portadora OFDM conviene realizar un proceso de intercalado de los bits dentro de un flujo. Regularmente los estándares de transmisión de radiodifusión digital consideran etapas de intercalado y protección de bits antes de generar la señal OFDM, incluso usan procesos de mapeos de símbolos como el QPSK y QAM.

El proceso realiza un particionamiento del canal de transmisión tanto en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia para organizar un conjunto de sub-bandas de frecuencia pequeñas y un conjunto de pequeños segmentos de tiempo contiguos. Esto debido a que un canal de transmisión tiene características estables en un periodo corto de tiempo.

Dentro de cada segmento de tiempo, el cual es conocido como símbolo OFDM, se genera una portadora dentro de cada sub-banda de frecuencia. Para evitar interferencia entre portadoras, el espaciamiento entre ellas es igual al inverso de la duración del símbolo, de esta forma las portadoras son ortogonales.

Para generar la señal OFDM, regularmente se usan ondas de senos y cosenos como portadoras, ya que una de esas formas de onda y sus armónicas, son ortogonales entre si.

En el caso más simple (el cual resulta ser impráctico), un flujo de bits es separado para modular a varias portadoras. Por ejemplo, si se usaran 4 portadoras, se debería usar un convertidor serial a paralelo que proporcione ahora 4 flujos, donde cada uno de ellos modulará a una portadora. Posterior a esto las señales moduladas serán sumadas para formar una sola señal OFDM. Esta idea es presentada en la Figura 3.8, donde la función $s(t)$ es la señal OFDM.

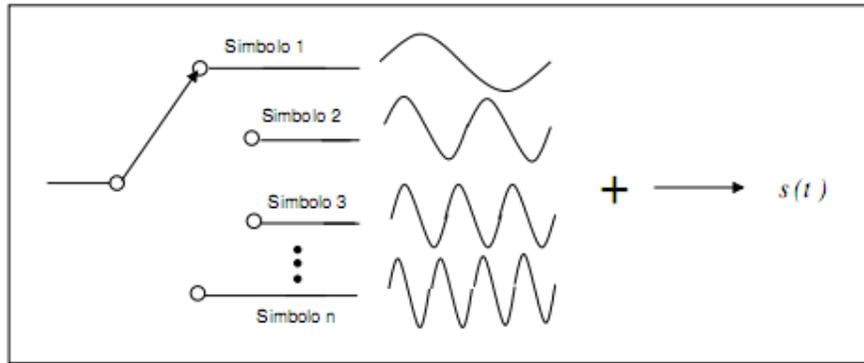


Figura 3.8 Idea básica de la técnica OFDM

La anterior es una ecuación un tanto burda, pero que da la idea básica de la técnica OFDM.

Como se mencionó anteriormente, la técnica OFDM enfrenta aquellos problemas en la recepción de una señal, que tienen que ver con retardos o reflejos de la señal. Estos problemas se deben a que cuando se transmite la señal, puede desviarse de su trayectoria directa al receptor ya sea por factores ambientales o de estructuras como los edificios en una ciudad. Regularmente los retrasos provocan modificaciones en la ganancia de la señal e incluso, pueden llegar a debilitarla tanto provocando que un receptor no pueda demodularla. Estos retrasos pueden ser más pequeños que la duración de un símbolo o incluso, más grandes.

Esta atenuación (fading) puede provocar que la señal pierda potencia en ciertas frecuencias y regularmente es provocado por el ambiente. El ambiente que provoca que todas las señales que llegan a un receptor por medio de reflejos es conocido como Rayleigh. Los reflejos que provocan retrasos más largos que la duración de un símbolo provocan un tipo de atenuación denominada de “frecuencia selectiva”.

OFDM proporciona ventajas en canal que tiene respuesta de frecuencia selectiva, ya que solo algunas portadoras de cierta frecuencia pueden perderse, con lo cual a su vez pueden perderse algunos bits, pero codificación previa apropiada, estos pueden recuperarse.

Si se puede determinar de alguna forma, cuanto tiempo puede durar el retraso de una señal, la señal OFDM puede diseñarse de manera que los símbolos estén separados por ese tiempo del retraso. De esta forma, el retraso de uno, no afectará al siguiente símbolo. En principio podría dejarse un espacio en blanco entre símbolos, pero esto no es posible, ya que se perdería la continuidad de la señal.

La forma en que OFDM maneja este caso es retrasando el inicio del símbolo (el tiempo que pueda durar el retraso de la señal) e insertando algo en ese espacio de guardia, para mantener la continuidad de la señal. Eso que se inserta es la parte final del símbolo. Por ejemplo, puede extenderse la duración del símbolo de manera que ahora sea 1.25 veces, después se tendría que copiar la última cuarta parte de la señal del símbolo para insertarlo antes del inicio de este. Así lo único que restaría por hacer es ajustar la fase de inicio del receptor. El procedimiento anterior es denominado inserción del prefijo cíclico (Cyclic Prefix).

Ya que el OFDM usa muchas portadoras, en teoría debería insertarse el prefijo a cada una de ellas. Sin embargo, en la práctica esto solo se realiza una vez a la señal OFDM compuesta (debido a que está compuesta por una combinación lineal). En un sistema práctico, la inserción se realiza después de realizar la IFFT y obtener la señal compuesta, posteriormente en el receptor, primero hay que eliminar el prefijo y realizar la FFT para obtener los símbolos de cada portadora.

La desventaja de esta técnica es que al disminuir los efectos de la interferencia entre símbolos y de los retrasos, se incrementa el ancho de banda y se reduce así la tasa de símbolos ^[9].

3.4 Técnicas de multiplexación

Los sistemas de radio digital emplean un múltiplex que transporta a las componentes de la señal que juntas proporcionan la información necesaria al receptor para sincronizar la señal, determinar los parámetros que serán empleados y decodificar los servicios del mismo (audio y datos).

Un servicio de programa comprende generalmente una componente del servicio de audio y, opcionalmente componentes del servicio de datos y/o de audio adicionales, proporcionados por un suministrador del servicio. Toda la capacidad del múltiplex puede estar dedicada a un suministrador del servicio (por ejemplo, difundiendo cinco o seis programas radiofónicos de alta calidad), o puede estar dividida entre varios suministradores del servicio (por ejemplo, difundiendo de forma colectiva unos veinte programas radiofónicos de calidad media).

Para el caso del sistema Eureka 147, una trama se compone de tres mecanismos: el FIC, el MSC y el Canal de Sincronización.

La función primaria del FIC, que se compone de bloques llamados FIB, es llevar la información de control necesaria para interpretar la configuración del MSC. La parte esencial de esta información de control es el Múltiplex de Configuración de la Información (MCI), que contiene información de la estructura del múltiplex y, cuando es necesario, su reconfiguración. Con el fin de permitir una respuesta rápida y segura del MCI, el FIC es transmitido sin entrelazado temporal, pero con un nivel de protección alto contra errores de transmisión.

El MSC esta hecho de una secuencia de CIF o “tramas comunes de entrelazado”. Un CIF es un campo de información de 55,296 bits, transmitido cada 24 ms. La unidad más pequeña de un CFI es la CU o “unidad de capacidad”, cuyo tamaño es de 64 bits. Los CUs se agrupan para constituir la unidad básica de transporte de el MSC, llamada sub-canal. El MSC se constituye, por lo tanto, de un múltiplex de sub-canales ^[11].

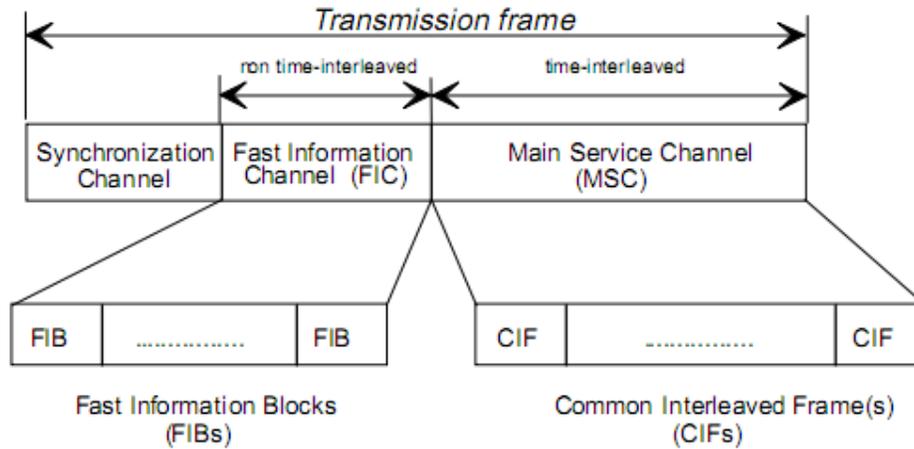


Figura 3.6 Trama DAB

El MCI es transportado dentro del FIC, como se describió anteriormente. Básicamente, su función es describir como se organiza el múltiplex DAB proporcionando la siguiente información:

1. Define la organización de los sub-canales.
2. Hace una lista de los servicios disponibles en el ensamble.
3. Establece ligas entre los servicios y las componentes de los servicios.
4. Establece ligas entre los sub-canales y las componentes de los servicios.
5. Maneja la reconfiguración del múltiplex.

Por último, el canal de sincronización es usado internamente dentro del sistema de transmisión para funciones básicas de demodulación, como lo son la sincronización de la transmisión de tramas, control de frecuencia automática, estimación del estado del canal e identificación del transmisor.

Para el caso de IBOC, el múltiplex transporta los siguientes servicios ^[12]:

1. MPS o Servicio de Programa Principal tanto de audio como de datos: En donde se transmite información referente al audio como lo son el título, artista, album, género y comentario así como información referente a la trama de audio.
2. SPS o Servicio de Programa Suplemental tanto de audio como de datos: Permite la transmisión de contenido de audio adicional en formato digital. Esto permite que programas de audio adicionales sean transmitidos dentro de la misma portadora.
3. Servicio de aplicación avanzada.
4. Servicio de Información de la estación: En este servicio se transmite el nombre de la estación, su ID, su localización e información para la sincronización del reloj con los receptores.

CAPÍTULO 4. ESTÁNDARES DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL DAB E IBOC

En la actualidad, la Unión Internacional de Telecomunicaciones, basada en diversos estudios realizados tanto al sistema DAB como al sistema IBOC, recomienda a las dos tecnologías como buenos candidatos para su utilización como sistema de radiodifusión digital. Sin embargo los gobiernos de Estados Unidos y la Unión Europea, cada uno por su lado, han decidido estandarizar sus “tecnologías de casa”, lo que automáticamente crea una competencia en cuanto a cuál estándar ofrece una mejor opción para su futura implementación. A continuación, se presenta una descripción tanto del estándar DAB como del IBOC.

4.1 Estándar DAB

Las recomendaciones de la UIT que recogen las características técnicas del sistema son la BS. 1114 (para la difusión terrestre) y BS 1130 (para difusión vía satélite, que no se tratará en este trabajo) En cuanto a la norma europea, ésta se especifica en el estándar ETS 300 401 de la ETSI (European Telecommunications Standard Institute).

El estándar está basado en el conjunto de requerimientos adoptados por las recomendaciones ITU-R BS 774 y 789. Es importante señalar, que DAB es una marca registrada propietaria del consorcio Eureka 147. Dicho documento, define la naturaleza y el contenido de la señal DAB transmitida.

El sistema DAB Eureka utiliza tecnología digital avanzada para remover la redundancia e información perceptualmente irrelevante en la señal de la fuente de audio, luego aplica redundancia controlada a la señal para proveer protección contra los errores.

La utilización eficiente del espectro es lograda al entremezclar múltiples señales; y un reuso frecuencial, el cuál permite extender la red de transmisión con solo agregar más multiplexores sobre la misma frecuencia de transmisión o la capacidad de transmisión con más ancho de banda.

La señal lleva un multiplexado de varios servicios digitales simultáneamente; una capacidad de transporte total de un poco más de 2.4 Mbits/s, con un ancho de banda de aproximadamente 1.5 MHz dentro de un rango de 30 MHz a 3 GHz sobre una red terrestre, satelital, o ambas.

La calidad en la protección de errores puede ser ajustada para cada servicio independientemente, así como la velocidad de transmisión. Los servicios pueden ser programas de audio, o otro tipo de datos, con o sin relación entre sí.

4.1.1 Requerimientos para el sistema

La razón por la que surgió la necesidad de la creación del sistema DAB, era que en todo el mundo hacían falta cada vez más medios de radiodifusión de sonido estereofónico de

alta calidad de uno o más canales con una calidad subjetiva indistinguible de la de los medios de grabación digital de consumo de alta calidad, para receptores a bordo de vehículos, portátiles y fijos. Esto, aunado a las limitaciones presentadas en los actuales servicios de radiodifusión sonora en AM y FM para poder ofrecer un servicio como tal y las congestiones existentes en sus respectivas bandas, que daban lugar a un aumento en el nivel de interferencia.

Por el otro lado, los avances técnicos de la codificación de fuente y del canal y de la modulación y el procesamiento de la señal digital, habían demostrado la madurez técnica y económica necesaria, para poder unirlos y así crear un sistema capaz de proporcionar los servicios de radiodifusión digital sonora no solo por vía terrestre sino también, mediante un desarrollo tecnológico paralelo, por vía satélite.

Algunos de los requerimientos que se deben de puntualizar son los siguientes ^[1]:

- Gran calidad de sonido estereofónico mediante dos o más canales, de calidad subjetiva indistinguible de los medios de grabación digital (disco compacto).
- Mayor eficacia en lo que respecta a la utilización del espectro y a la potencia, que los sistemas FM convencionales.
- Una calidad de funcionamiento considerablemente mejorada en condiciones de propagación multitrayecto o en sombra, mediante la utilización de diversidad en frecuencias y en el tiempo y de diversidad en el espacio (cocanal) en el extremo transmisor cuando sea necesario.
- Posibilidad de configurar y reconfigurar el sistema para poder transmitir programas radiofónicos a velocidades binarias más bajas a expensas de la calidad y el número de programas radiofónicos disponibles.
- Posibilidad de ofrecer servicios de valor añadido con capacidades de datos diferentes y de información referente al programa transmitido.

Como se ha visto a lo largo de este trabajo, todos los requerimientos presentados aquí han sido cubiertos y de hecho, la recomendación ITU-R BS 774, proporciona como ejemplo de un sistema que cumple con las características mencionadas anteriormente, al sistema Eureka DAB.

A manera de resumen, y recordando lo establecido en la sección 2.2.1, el sistema DAB mejora la recepción superando los efectos de la propagación multitrayecto por medio de la modulación COFDM. Proporciona calidad de sonido equivalente a la de un disco compacto gracias a la tecnología MPEG Audio Capa II y es posible multiplexar varios programas y servicios de datos para formar un bloque y ser emitidos juntos, siendo estos reconfigurables en caso de que se necesite.

Se utiliza la codificación convolucional con ayuda de entrelazado en tiempo y frecuencia para la protección contra errores.

También permite, la transmisión de datos asociados al programa, los cuales van dentro del mismo múltiplex de audio, y de servicios adicionales, que bien pueden ir en un múltiplex aparte o divididos en los diferentes múltiplex de audio. Como dato adicional, el sistema tiene la capacidad de funcionar en redes de frecuencia única.

A continuación, se describirán mas a detalle los procesos de codificación de audio y de modulación.

4.1.2 Codificación de audio ^[2]

El sistema permite codificación de audio por los estándares ISO/IEC 11172-3 (MPEG-I Audio) y ISO/IEC 13818-3 (MPEG-2 Audio) Layer II, excepto por la frecuencia única de muestreo de 48 kHz para MPEG-1 y 24 kHz para MPEG-2. ISO/IEC CRC es mandatoria. El sistema cuenta con extensiones adicionales para protección de errores, información para indicar los derechos de autor (copyright) y el estado del material como copia/original.

Este algoritmo (audio MPEG) ha sido recomendado por la ITU-R, después de exhaustivas pruebas para aplicaciones de transmisión. Desde una entrada PCM estéreo o mono muestreada a 24 kHz o 48 kHz, un flujo de bits reducido es obtenido y codificado a la tasa de bits escogida. Sólo el decodificador y el algoritmo de flujo son especificados, dejando el sistema "a prueba de obsolescencia" y asegurándole un largo futuro.

Layer II es capaz de procesar estéreo o mono con tasas de 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, 80, 96, 112, 128, 144, 160 o 192 kbits/s por canal monofónico y posibilidad de extensión multicanal. Las estaciones pueden así hacer la mejor elección dependiendo de la calidad requerida y del número de programas a transmitir.

Los siguientes modos de audio son provistos:

- Modo de canal único.
- Modo estéreo (dos canales, izquierdo y derecho codificados como una corriente).
- Modo de estéreo conjunto (ídem, pero explotando la redundancia entre ambos canales).

Esto quiere decir que una señal multicanal está formada por una señal convencional estéreo, decodificable por un receptor estero convencional DAB, e información adicional multicanal reproducible por un receptor extendido.

Cada servicio de audio contiene también una PAD de capacidad variable entre 0.333 kbits/s para MPEG-2 a media frecuencia, o 0.667 kbits/s a frecuencia completa. El PAD está incorporado al final del cuadro DAB

4.1.3 Modulación ^[2]

La modulación utilizada en el sistema es la OFDM y cuyo principio ya fue explicado en el capítulo anterior. El número de sub-portadoras transmitidas que constituye a la señal principal, viene definido por el modo de transmisión (Tabla 4.1). Cada sub-portadora, es a su vez modulada en D-QPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying), lo que significa que los bits son mapeados a cambios de fase en vez de una fase absoluta transmitida. ^[2].

Parámetros	Modo I	Modo II	Modo III	Modo IV
Duración total de la trama, T_F	96 ms	24 ms	24 ms	48 ms
Duración del símbolo nulo, T_{NULL}	1,297 ms	324 μ s	168 μ s	648 μ s
Duración de los símbolos MDFO, T_s	1,246 ms	312 μ s	156 μ s	623 μ s
Inversa de la separación entre portadoras, T_u	1 ms	250 μ s	125 μ s	500 μ s
Duración del intervalo de guarda, Δ ($T_s = T_u + \Delta$)	246 μ s	62 μ s	31 μ s	123 μ s
Número de portadoras transmitidas, K	1 536	384	192	768

Tabla 4.1 Parámetros de transmisión de DAB

Con el fin de permitir que el sistema DAB sea utilizado bajo diferentes esquemas de transmisión sobre un amplio rango de frecuencias de operación, se han establecido cuatro modos diferentes de operación. La trama de la señal transmitida tiene una estructura cuya duración depende del modo de transmisión. Esta consiste de símbolos OFDM consecutivos. Los símbolos OFDM son generados desde la salida del multiplexor la cual combina a los CIF's y a los FIB's. Su generación implica los procesos de D-QPSK, entrelazado en frecuencia y la multiplexación en frecuencia de los símbolos D-QPSK (Generador OFDM).

La trama de transmisión consiste de una secuencia de tres grupos de símbolos OFDM: símbolos de sincronización del canal, símbolos del FIC y del MSC. Los símbolos del canal de sincronización comprenden el símbolo nulo y el símbolo de referencia de fase.

Los símbolos nulos son también utilizados para permitir un limitado número de portadoras OFDM para acarrear la información de identificación del transmisor.

La Figura 4.1, muestra los diagramas de bloques del proceso descrito anteriormente.

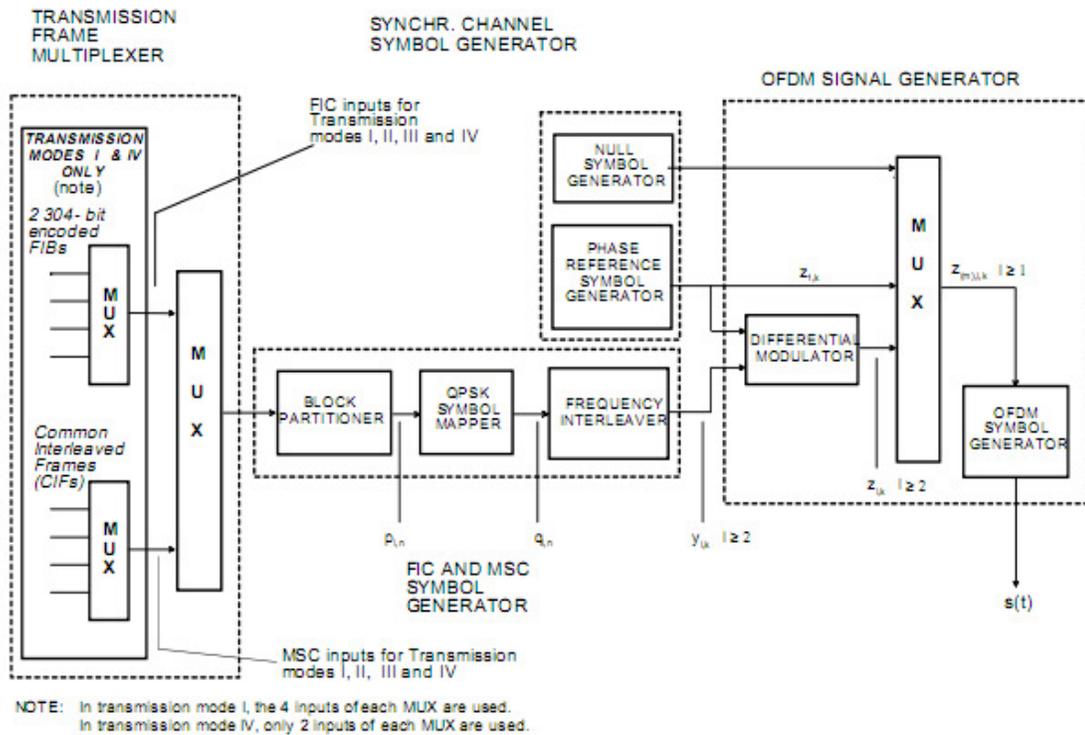


Figura 4.1 Diagrama de bloques del proceso de modulación OFDM en DAB

Como se mencionó anteriormente, cada trama de transmisión consiste de símbolos OFDM. El primer símbolo OFDM de la trama, será el Nulo, y su duración será T_{null} . LA parte restante de la trama de transmisión será una yuxtaposición de símbolos OFDM de duración T_s .

Cada uno de los símbolos consistirá de un grupo de portadoras equiespaciadas, el espacio entre las mismas será igual a $1/T_U$. La señal principal $s(t)$ será definida utilizando la siguiente fórmula:

$$s(t) = \text{Re} \left\{ e^{2j\pi f_c t} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{l=0}^L \sum_{k=-K/2}^{K/2} z_{m,l,k} \times g_{k,l}(t - mT_F - T_{NULL} - (l-1)T_S) \right\}$$

con

$$g_{k,l}(t) = \begin{cases} 0 & \text{for } l = 0 \\ e^{-2j\pi k(t-\Delta)/T_U} \cdot \text{Rect}(t/T_S) & \text{for } l = 1, 2, \dots, L \end{cases}$$

y $T_S = T_U + \Delta$.

En donde:

L = Es el número de símbolos OFDM por trama de transmisión (excluyendo el símbolo nulo).

K = Es el número de portadoras transmitidas.

T_f = Es la duración de la transmisión de la trama.

T_{null} = es la duración del símbolo Nulo.

T_s = Es la duración de los símbolos OFDM de índices $l=1,2,3,\dots, L$;

T_u = Es la inversa del espaciamiento entre portadoras.

Δ = Es la duración del intervalo de tiempo llamado intervalo de guarda.

$Z_{m,l,k}$ = Es el símbolo complejo D-QPSK asociado a la portadora k del símbolo OFDM l durante la trama de transmisión m . Para $k=0$ $Z_{m,l,k} = 0$, de tal manera que la portadora central no es transmitida.

F_c = es la frecuencia central de la señal.

Los parámetros por modo, son definidos en la Tabla 4.2 para los modos de transmisión I, II, III y IV. Los valores de los parámetros son dados en periodos multiples del periodo elemental $t = 1/2 \cdot 048000$ segundos, y aproximadamente en milisegundos o microsegundos.

Parameter	Transmission mode I	Transmission mode II	Transmission mode III	Transmission mode IV
L	76	76	153	76
K	1 536	384	192	768
T_F	196 608 T 96 ms	49 152 T 24 ms	49 152 T 24 ms	98304 T 48 ms
T_{NULL}	2 656 T ~1,297 ms	664 T ~324 μ s	345 T ~168 μ s	1328 T ~648 μ s
T_S	2 552 T ~1,246 ms	638 T ~312 μ s	319 T ~156 μ s	1276 T ~623 μ s
T_u	2 048 T 1 ms	512 T 250 μ s	256 T 125 μ s	1024 T 500 μ s
Δ	504 T ~246 μ s	126 T ~62 μ s	63 T ~31 μ s	252 T ~123 μ s

Tabla 4.2 Modos de transmisión para el estándar DAB

4.2 Estándar IBOC

A continuación se dará una descripción más a detalle del sistema, haciendo referencia a sus requerimientos, modo de codificación de audio y modulación. Es importante señalar

que la codificación de audio fue ya descrita anteriormente por lo que no se hará una descripción a fondo de la misma.

4.2.1 Requerimientos para el sistema ^[3]

La principal idea que motivó a la creación del estándar IBOC fue la necesidad de migrar a un esquema completamente digital. Dicho esquema, naturalmente ya estaba resuelto por el estándar europeo, pero dicha tecnología no cumplía con una premisa muy importante que era el permitir una transición global tanto para la banda de FM como la de AM, debido principalmente al ancho de banda que utiliza de 1.5 MHz y al poco espacio disponible dentro de las bandas, además de que éste no cubría la radiodifusión en onda media (AM). Los requerimientos, nuevamente son presentados en la recomendación ITU-R BS 774 pero la estandarización del mismo, como se mencionó anteriormente, queda definida en el documento NRSC-5, emitido por el Comité Nacional de Sistemas de Radio de los Estados Unidos.

Algunos de los requerimientos que se pueden puntualizar son los siguientes:

- Representar audio y datos con la menor cantidad de bits posible (maximizar la información pasada a través del canal), preservando el nivel de calidad requerido para la aplicación.
- El sistema debe tener la capacidad de “convivir” con el sistema analógico usado hasta el momento (radiodifusión analógica AM y FM), por lo cual es importante que no se genere interferencia entre canales (ICI).
- El sistema debe mantener el ancho de banda usado por el estándar analógico (20 KHz para AM y 200 kHz para FM).

La presente sección presenta la información más importante del estándar IBOC presentado por la NRSC.

4.2.2 Codificación de audio

El sistema permite la utilización del códec AAC complementado por la SBR (cuyo funcionamiento y características fueron descritos en el capítulo anterior) con lo que se obtiene audio estereofónico similar a FM de alta calidad dentro de las restricciones de anchura de banda impuestas en el funcionamiento por debajo del 30 MHz. Para reforzar la robustez del audio digital aún más de lo que permiten la FEC y el entrelazado, los códec de audio emplean técnicas especiales de ocultación de errores para enmascarar los efectos de errores en el tren de bits de entrada. Además, el formato de tren de bits del códec audio proporciona la flexibilidad de permitir futuras mejoras de las técnicas básicas de codificación de audio ^[4].

4.2.3 Modulación

EL sistema IBOC, como se describió anteriormente, tiene modos de transmisión AM y FM. Aunque en las dos bandas se utiliza la modulación OFDM la manera en la que se obtiene es diferente, también, se debe de tomar en cuenta el modo en que este transmite (híbrido o totalmente digital).

Modulación para IBOC AM

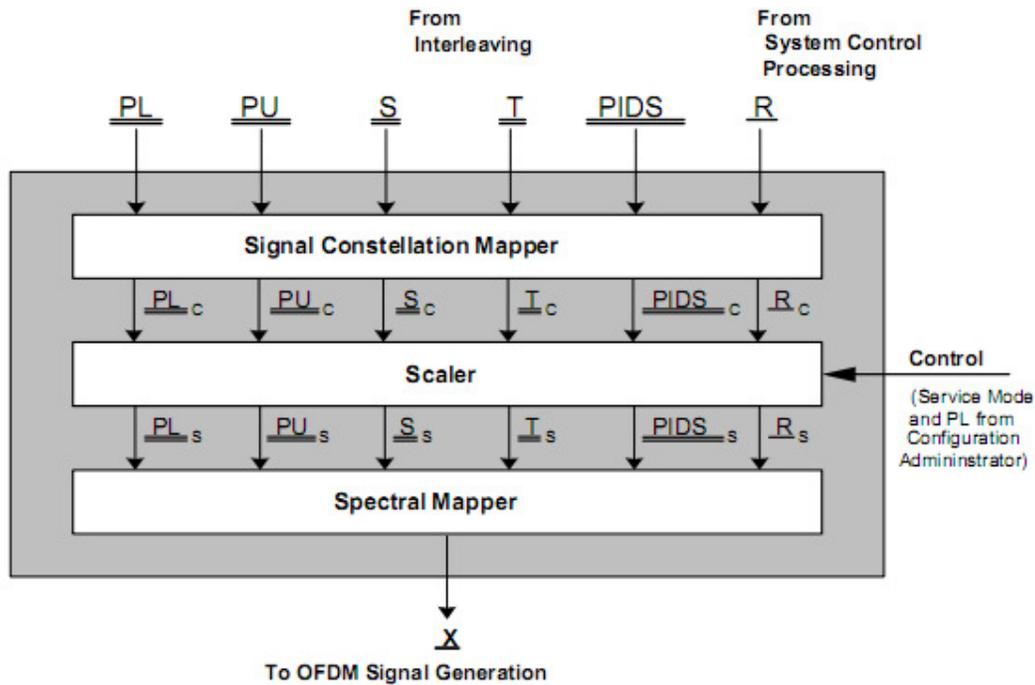


Figura 4.8 Diagrama de bloques conceptual del mapeo de sub-portadoras

La Figura 4.8 muestra el proceso de mapeo de sub-portadoras. El mapeo asigna particiones de entrelazado a particiones de frecuencia. Por cada matriz de entrelazado activa, el mapeo OFDM asigna una fila de bits de cada entrelazado a su respectiva frecuencia portadora y valor de constelación en el vector de salida complejo X . Además, desde una fila R se mapean bits de secuencia de datos de control del sistema a sub-portadoras de referencia activas en X . El modo de servicio dicta cual de las matrices de entrelazado y cuales elementos de R son activos.

Las entradas al bloque de mapeo por cada símbolo, son filas de bits de cada matriz de entrelazado activa y una fila de bits de R , la matriz de secuencias de datos de control del sistema. A la salida del bloque, por cada símbolo OFDM se genera un único vector complejo, X , de longitud 163.

Las matrices de entrelazado que llevan el audio y los datos (PU , PL , S , T , $PIDS$) son mapeadas a puntos de constelaciones QPSK, 16-QAM o 64-QAM y a sub-portadoras específicas, mientras que la matriz R es mapeada a puntos de constelación BPSK y a las sub-portadoras de referencia. Estos fasores son entonces escalados en amplitud y así mapeados a sus sub-portadoras OFDM asignadas. El proceso resulta en un vector, X de fasores que van dirigidos a la función generadora de la señal OFDM [5].

Descripción de la señal OFDM y su forma de onda para IBOC AM [6]

Una vez explicado el proceso de mapeo, es conveniente hacer una descripción de la señal OFDM y sus sub-portadoras. La tecnología usa modulación QAM en cada sub-portadora OFDM. Además, el tiempo de los símbolos es optimizado para asegurar que la duración de los pulsos de ruido del canal sea mucho menor que la duración de los

símbolos QAM, asegurando una recepción robusta en presencia de estática y ruido inherente al mismo. Cada símbolo tiene una duración de 5.8 ms y un espaciamiento entre sub-portadoras de 181.7 Hz.

En la forma híbrida, las sub-portadoras OFDM están localizadas en las bandas laterales primarias y secundarias a cada lado de la señal analógica principal. Cada banda lateral tiene una componente superior y una inferior. Asimismo, la información de control y estatus es transmitida en las sub-portadoras de referencia en cada lado de la portadora principal.

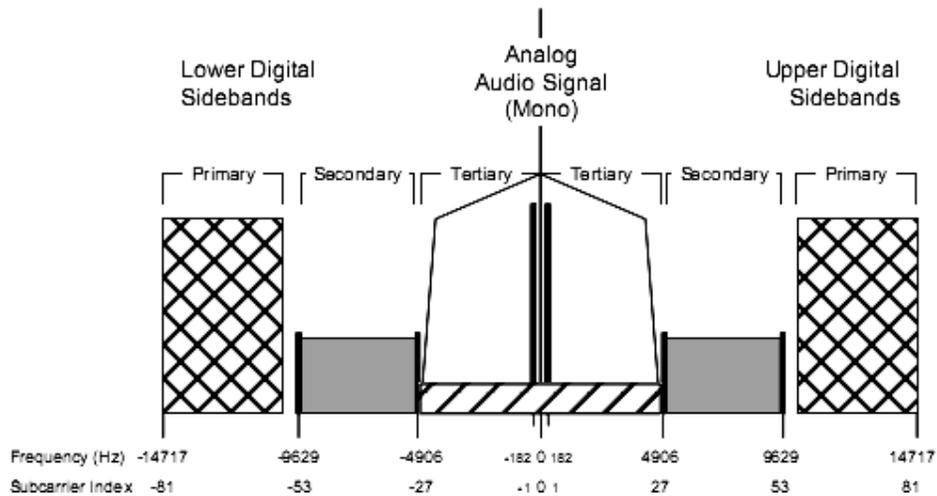


Figura 4.9 Forma de onda del espectro de AM IBOC híbrido

Existen además, dos sub-portadoras adicionales entre la primaria y la secundaria y entre las bandas laterales secundaria y terciaria en cada lado de la portadora principal. Estas son conocidas como las sub-portadoras IDS (IBOC Data System) y son usadas para aplicaciones de baja latencia y baja tasa de información.

El número de portadoras OFDM en las bandas laterales secundaria, terciaria e IDS es dos veces el número necesitado para transmitir los valores de la constelación QAM. Durante la transmisión, la relación de fase entre las señales analógicas y digitales debe de mantenerse.

La potencia total de todas las bandas laterales digitales, en el modo híbrido, es significativamente menor que la potencia de una señal AM análoga convencional. El nivel de potencia de cada sub-portadora OFDM, en las bandas laterales primarias es relativamente fija en comparación con la portadora principal análoga no modulada. El nivel de potencia de las sub-portadoras secundarias, IDS y terciaria es ajustable. La siguiente tabla, es un sumario de todas las características espectrales de la forma de onda híbrida:

Sideband	Subcarrier Range	Subcarrier Frequencies (Hz from channel center)	Frequency Span (Hz)	Power Spectral Density, dBc/Subcarrier	Modulation Type
Primary Upper	57 to 81	10356.1 to 14716.6	4360.5	-30	64-QAM
Primary Lower	-57 to -81	-10356.1 to -14716.6	4360.5	-30	64-QAM
Secondary Upper	28 to 52	5087.2 to 9447.7	4360.5	-43 or -37	16-QAM
Secondary Lower	-28 to -52	-5087.2 to -9447.7	4360.5	-43 or -37	16-QAM
Tertiary Upper	2 to 26	363.4 to 4723.8	4360.4	To Be Announced	QPSK
Tertiary Lower	-2 to -26	-363.4 to -4723.8	4360.4	To Be Announced	QPSK
Reference Upper	1	181.7	181.7	-26	BPSK
Reference Lower	-1	-181.7	181.7	-26	BPSK
Upper IDS1	27	4905.5	181.7	-43 or -37	16-QAM
Upper IDS2	53	9629.4	181.7	-43 or -37	16-QAM
Lower IDS1	-27	-4905.5	181.7	-43 or -37	16-QAM
Lower IDS2	-53	-9629.4	181.7	-43 or -37	16-QAM

Tabla 4.3 Distribución del espectro para la forma híbrida de IBOC AM

Para el modo totalmente digital (Figura 4.10), la señal analógica es reemplazada con bandas laterales primarias de alta potencia. La portadora de AM no modulada es mantenida y las bandas laterales secundarias son movidas a frecuencias más altas por encima de las bandas laterales superiores primarias. Asimismo las bandas laterales terciarias son movidas a frecuencias por debajo de las bandas laterales primarias. Las bandas laterales secundarias y terciarias usan la mitad del número de portadoras, en comparación con la forma híbrida, ya que no existe más la necesidad de colocarlas en cuadratura con la señal análoga ya que no está modulada. Finalmente, la potencia de las bandas laterales secundaria y terciaria se incrementa. Todos estos cambios, se reflejan en una reducción del ancho de banda, haciendo la forma de onda digital menos susceptible a la interferencia por canal adyacente ^[6].

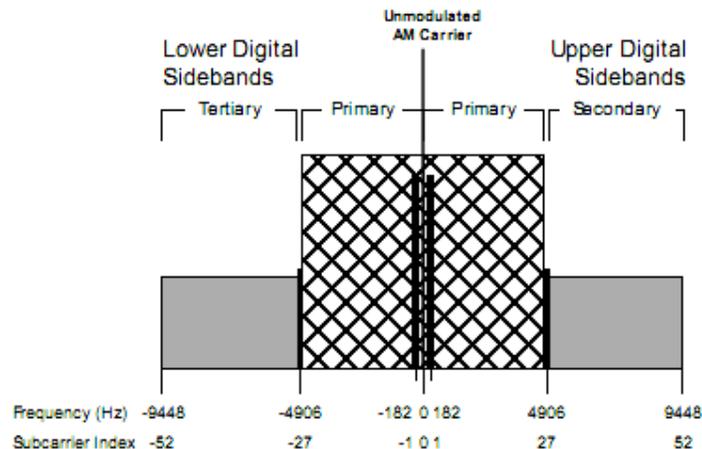


Figura 4.10 Espectro de la señal IBOC AM totalmente digital

De la misma manera, la Tabla 4.4 presenta la distribución del espectro para la forma totalmente digital.

Sideband	Subcarrier Range	Subcarrier Frequencies (Hz from channel center)	Frequency Span (Hz)	Power Spectral Density, dBc/Subcarrier	Modulation Type
Primary Upper	2 to 26	363.4 to 4723.8	4360.5	-15	64-QAM
Primary Lower	-2 to -26	-363.4 to -4723.8	4360.5	-15	64-QAM
Secondary	28 to 52	5087.2 to 9447.7	4360.5	-30	64-QAM
Tertiary	-28 to -52	-5087.2 to -9447.7	4360.5	-30	64-QAM
Reference Upper	1	181.7	181.7	-15	BPSK
Reference Lower	-1	-181.7	181.7	-15	BPSK
IDS1	27	4905.5	181.7	-30	16-QAM
IDS2	-27	-4905.5	181.7	-30	16-QAM

Tabla 4.4 Distribución del espectro para la forma de onda totalmente digital de IBOC AM

Modulación para IBOC FM

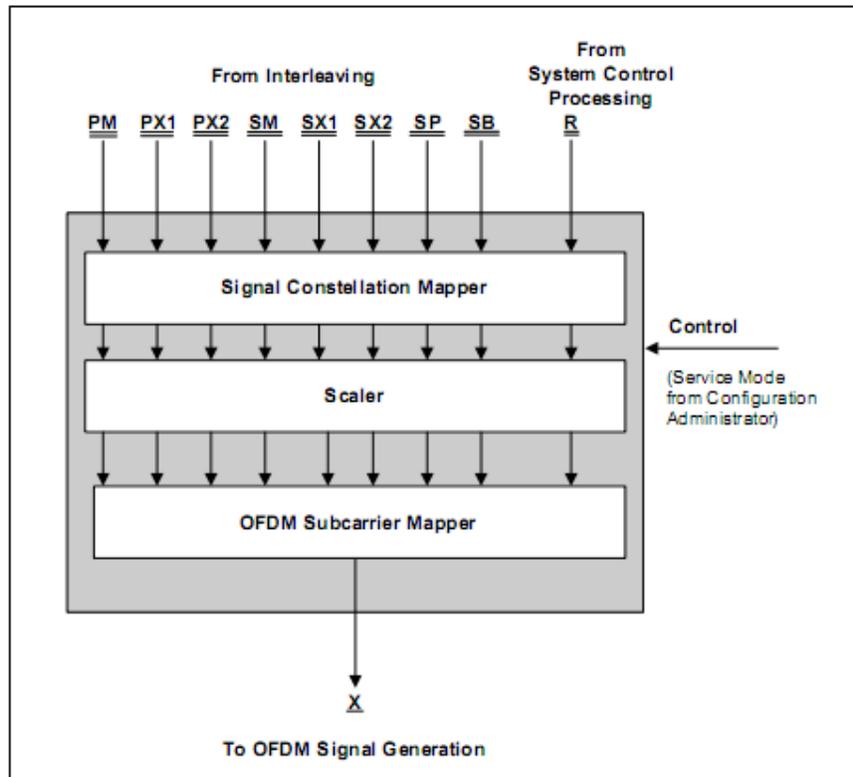


Figura 4.11 Diagrama de bloques del mapeo de sub-portadoras OFDM para IBOC-FM

El mapeo para IBOC FM, sigue el mismo esquema que para su homólogo en AM. Las diferencias principales son que la longitud del vector X en esta ocasión es de 1093, y que las matrices que llevan la información de audio y datos son PM, PX1, PX2, SM, SX1, SX2, SP y SB cuyo mapeo se da a puntos de constelaciones QPSK y a sub-portadoras específicas.

Una vez que se tienen las sub-portadoras OFDM, estas son agrupadas en particiones de frecuencia. Cada partición de frecuencia es compuesta por 18 sub-portadoras de información y una sub-portadora de referencia, como se muestra en la Figura 4.12 (distribución A) y en la Figura 4.13 (distribución B). La posición de la sub-portadora de referencia varía con la ubicación de la partición de frecuencia dentro del espectro.

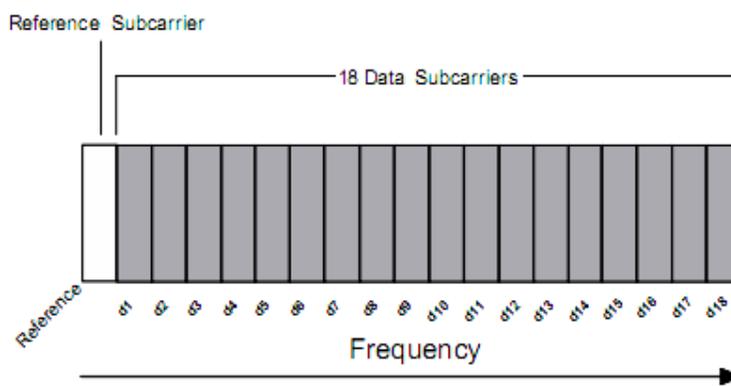


Figura 4.12 Partición de frecuencia. Distribución A

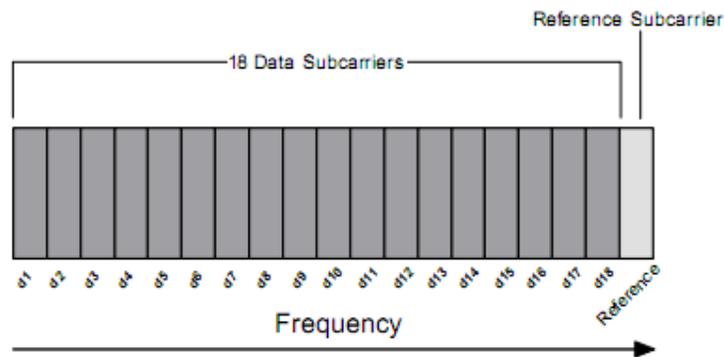


Figura 4.13 Partición de frecuencia. Distribución B

Para cada partición de frecuencia, las sub-portadoras de datos d1 a d18 acarrean contenido digital, mientras que la sub-portadora de referencia acarrea el control del sistema. Las sub-portadoras OFDM son numeradas desde 0 en el centro de la frecuencia hasta ± 546 a cada extremo de la asignación de frecuencia del canal.

Además, las sub-portadoras de referencia residen entre cada partición de frecuencia, dependiendo del modo de servicio, arriba de cinco portadoras de referencia adicionales son insertadas al espectro en las portadoras número -546, -279, 0, 279 y 546. El efecto general es una distribución regular de sub-portadoras de referencia en todo el espectro.

Por notación, a cada sub-portadora de referencia se le asigna un número único de identificación entre cero y sesenta. Todas las sub-portadoras de referencia de las bandas laterales inferiores se muestran en la Figura 4.14. Mientras que las superiores se muestran en la Figura 4.15. Las figuras indican la relación entre los números de sub-portadora de referencia y los números de sub-portadora OFDM.

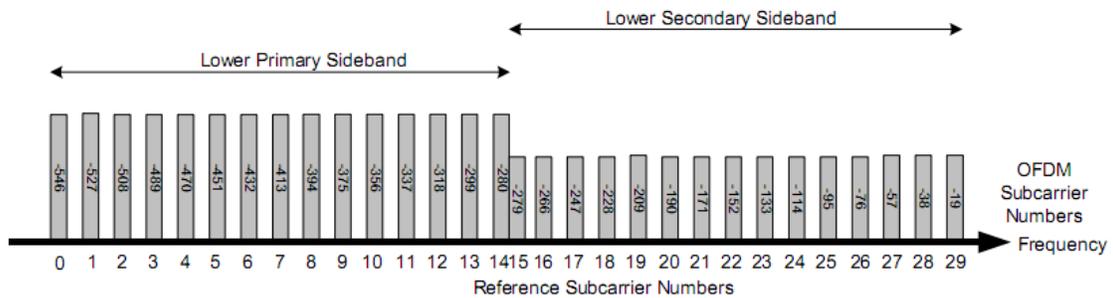


Figura 4.14 Mapeo espectral de la sub-portadora de referencia en la banda lateral inferior

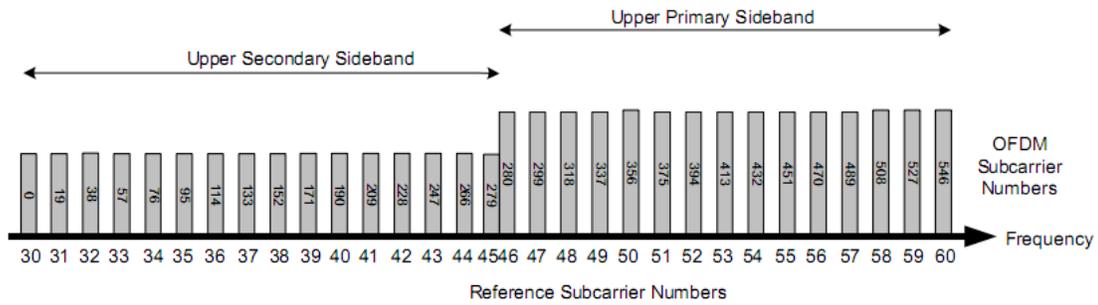


Figura 4.15 Mapeo espectral de la sub-portadora de referencia en la banda lateral superior

La frecuencia central de una sub-portadora es calculada multiplicando el número de la sub-portadora por el espacio OFDM de la sub-portadora $\Delta f \approx 363.373$ Hz. El centro 0 de la sub-portadora se localiza a 0 Hz. En este contexto, la frecuencia central es relativa al canal asignado de radiofrecuencia [7].

Descripción de la forma de onda en el modo IBOC FM Híbrido

En la forma híbrida, la señal digital se transmite en las bandas laterales primarias principales (PM) a cada lado de la señal análoga de FM, como se muestra en la Figura 4.16. La señal análoga puede ser mono o estéreo y puede incluir canales SCA. Cada banda lateral PM se conforma de diez particiones de frecuencia, las cuales están localizadas entre las sub-portadoras 356 a 545, o -356 a -545. Las sub portadoras 546 y -546, también incluidas en las bandas laterales PM, son sub-portadoras de referencia adicionales. La Tabla 4.5 hace una descripción de la ubicación de las bandas laterales PM superiores e inferiores para la forma híbrida. El espectro de densidad de potencia de cada sub-portadora OFDM en la banda lateral PM, relativa a la potencia análoga anfitrión, aparece también en la Tabla. Un valor de 0 dB produciría una sub-portadora digital cuya potencia sería igual al total de la potencia en la portadora de FM análoga no modulada. El valor fue escogido de tal manera que la potencia promedio en la banda lateral digital primaria principal (superior o inferior) sea 23 dB por debajo de la potencia total en la portadora análoga FM no modulada.

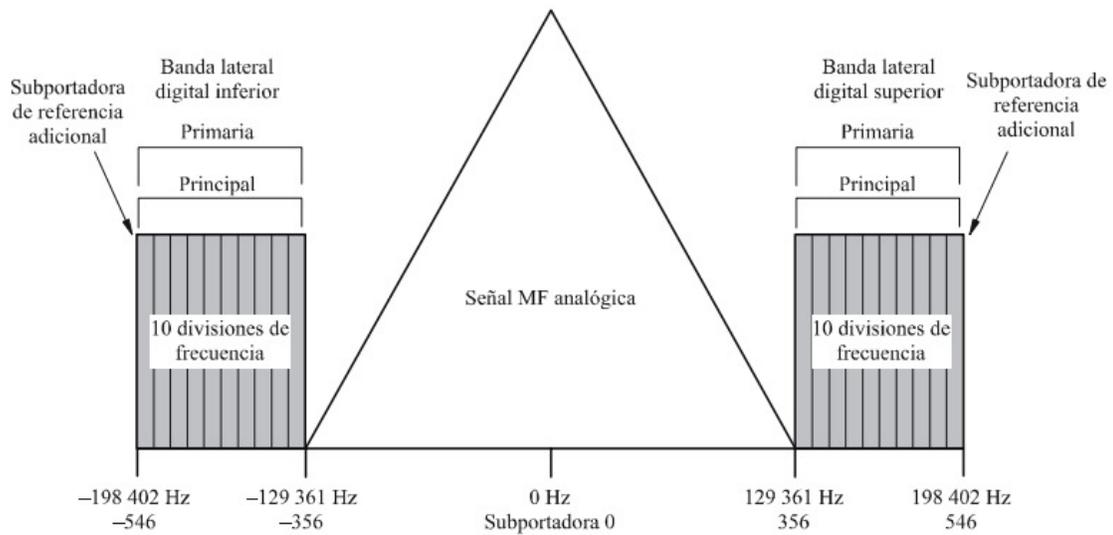


Figura 4.16 Espectro de la forma de onda de la señal IBOC FM híbrida

Banda lateral	Número de divisiones de frecuencia	Ordenación de las divisiones de frecuencia	Gama de subportadora	Frecuencias de subportadora (desde el centro del canal) (Hz)	Factor de escala de amplitud	Amplitud de frecuencia (Hz)	Comentarios
Principal primaria superior	10	A	356 a 546	129 361 a 198 402	a_0	69 041	Incluye la subportadora de referencia adicional 546
Principal primaria inferior	10	B	-356 a -546	-129 361 a -198 402	a_0	69 041	Incluye la subportadora de referencia adicional -546

Tabla 4.5 Descripción del espectro de la forma de onda híbrida

En todas las formas de onda, la señal digital es modulada usando OFDM. En un esquema de modulación digital de portadora única, los símbolos digitales son transmitidos de manera serial, con el espectro de cada uno de los símbolos ocupando todo el ancho de banda de canal durante su intervalo de señalización asignado [8].

Descripción de la forma de onda en el modo IBOC FM totalmente digital

La forma de onda totalmente digital se construye deshabilitando la señal analógica, expandiendo totalmente el ancho de banda de las bandas laterales digitales primarias y añadiendo las bandas laterales de menor potencia en el espectro desocupado por la señal analógica. La Figura 4.17 muestra el espectro de la forma de onda totalmente digital.

(El nivel de las subportadoras digitales es tal que la potencia total de estas portadoras no se encuentran más de 10 dB por debajo de la potencia nominal de la portadora analógica con MF que sustituye)

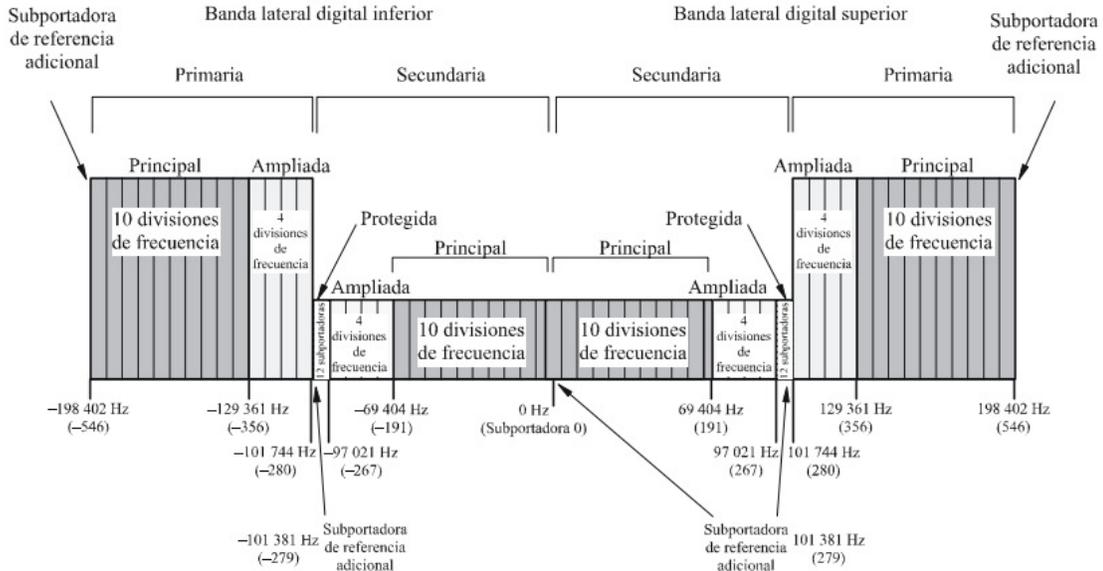


Figura 4.17 Espectro de la señal IBOC FM totalmente digital

Adicionalmente a las diez particiones de frecuencia principales, hay cuatro particiones de frecuencia extendidas que son presentadas en cada banda lateral primaria de toda la forma de onda digital. Cada banda lateral secundaria tiene también diez particiones de frecuencia secundarias principales (SM) y cuatro particiones de frecuencia secundarias extendidas (SX). Las particiones de frecuencia secundarias principales son mapeadas más cerca del centro del canal con particiones de frecuencia extendida mas alejadas del centro.

Cada banda lateral secundaria soporta también una región secundaria protegida que se forma de 12 sub-portadoras OFDM y de la sub-portadora de referencia 279 ó -279. Las bandas laterales son llamadas “protegidas” porque están localizadas en el área de mínimo espectro, expuestas a ser afectadas por interferencia análoga o digital. Una sub-portadora de referencia adicional es colocada en el centro del canal (0). La distribución de la región de frecuencia del SP no aplica ya que el SP no contiene particiones de frecuencia.

El tamaño de frecuencia total de todo el espectro digital es de 396,803 Hz. En la Tabla 4.6 se muestra la distribución de las bandas laterales primarias y secundarias, así como las superiores e inferiores para todas las formas de onda digitales. También se muestra la densidad espectral de potencia de cada una de las sub-portadoras OFDM. Así como en las tablas anteriores, los valores son relativos al nivel de la portadora FM análoga no modulada que es asignada para un radiodifusor particular [7].

Banda lateral	Número de divisiones de frecuencia	Ordenación de las divisiones de frecuencia	Gama de subportadoras	Frecuencias de subportadora (desde el centro del canal) (Hz)	Factor de escala de amplitud	Amplitud de frecuencia (Hz)	Comentarios
Principal primaria superior	10	A	356 a 546	129 361 a 198 402	a_2	69 041	Incluye la subportadora de referencia adicional 546
Principal primaria inferior	10	B	-356 a -546	-129 361 a -198 402	a_2	69 041	Incluye la subportadora de referencia adicional -546
Ampliada primaria superior	4	A	280 a 355	101 744 a 128 997	a_2	27 253	Ninguno
Ampliada primaria inferior	4	B	-280 a -355	-101 744 a -128 997	a_2	27 253	Ninguno
Principal secundaria superior	10	B	0 a 190	0 a 69 041	a_2	69 041	Incluye la subportadora de referencia adicional 0
Principal secundaria inferior	10	A	-1 a -190	-363 a -69 041	a_2	68 678	Ninguno
Ampliada secundaria superior	4	B	191 a 266	69 404 a 96 657	a_4-a_7	27 253	Ninguno
Ampliada secundaria inferior	4	A	-191 a -266	-69 404 a -96 657	a_4-a_7	27 253	Ninguno
Protegida secundaria superior	No aplicable	No aplicable	267 a 279	97 021 a 101 381	a_4-a_7	4 360	Incluye la subportadora de referencia adicional 279
Protegida secundaria inferior	No aplicable	No aplicable	-267 a -279	-97 021 a -101 381	a_4-a_7	4 360	Incluye la subportadora de referencia adicional 279

Tabla 4.6 Distribución del espectro para el espectro de IBOC FM totalmente digital

CAPÍTULO 5. COMPARACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LOS ESTÁNDARES DAB E IBOC

La comparación de los estándares de radiodifusión no es una tarea simple debido las diferentes implicaciones que cada sistema trae consigo. Aunque los dos sistemas comparten tecnologías, cada uno de ellos alcanza sus objetivos de manera distinta, lo que hace que se establezcan diferentes protocolos para cada uno de ellos. Este hecho, puede llevar a hacer una comparación desventajosa y en algunos casos no adecuada. Algunas de las diferencias más notables se enumeran a continuación:

1. La banda de frecuencias de trabajo de cada uno de los estándares es diferente.
2. Compatibilidad con redes de una sola frecuencia. Nótese que el sistema IBOC no fue diseñado para redes de una sola frecuencia, así como el sistema DAB no fue diseñado para trabajar en las frecuencias actuales asignadas para radio AM y FM.
3. Posibilidad de transmitir diversos programas en un solo múltiplex, DAB lo permite mientras que IBOC, por el momento no.
4. Compatibilidad para convivencia con transmisión de radio satelital. El sistema DAB fue diseñado para tal esquema, mientras que el IBOC no.
5. El sistema DAB transmite solamente en digital, mientras que el IBOC tiene modos de transmisión; híbrido (analógico – digital) y completamente digital.
6. El modo de transmisión no influye directamente en el equipo a utilizar en el estándar DAB, para el caso de IBOC esto no es posible pues para AM existen 3 implementaciones diferentes (2 en híbrido y una en digital) y para el caso de FM se cuentan con 4 (3 en híbrido y una en digital).

Una vez aclarados los puntos anteriores, se presenta la comparación técnica.

5.1 Comparación técnica

Tanto estándar DAB como el IBOC, son tecnologías aprobadas para su implementación en la radiodifusión digital terrestre, lo que significa que cumplen con las especificaciones establecidas por la Unión Internacional de las Telecomunicaciones para su recomendación de adopción como estándar. A pesar de esto, existen ciertas diferencias en ellos, de tal manera que alcanzan de manera diferente los objetivos de requerimiento para la radiodifusión digital, en algunos aspectos rebasándolos y en otros no contando con un determinado servicio. En la siguiente comparación técnica se utilizará el modelo OSI por capas. El modelo OSI, permite hacer una comparación más justa, pues mediante su jerarquía de capas, no solo se puede saber que protocolo se está utilizando, si no también la función que este desempeña, por lo que además de realizar una comparación dentro de un marco ya preestablecido se puede saber de una forma transparente la función realizada dentro del mismo. La *Tabla 5.1*, presenta la interpretación del modelo por capas OSI para el estándar DAB ^[1].

Nombre de la capa.	Descripción.	Características específicas del sistema.
Capa 7: Aplicación	Utilización práctica del sistema.	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidades del sistema. • Calidad audio. • Modos de transmisión.
Capa 6: Presentación	Conversión para presentación.	<ul style="list-style-type: none"> • Codificación y decodificación de audio. • Presentación de audio. • Información de servicio.
Capa 5: Sesión	Selección de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de programa. • Acceso condicional.
Capa 4: Transporte	Agrupación de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Servicios de programa. • Múltiplex de servicio principal. • Datos auxiliares. • Asociación de datos.
Capa 3: Red	Canal lógico	<ul style="list-style-type: none"> • Tramas audio ISO. • Datos asociados al programa
Capa 2: Enlace de datos	Formato de la señal transmitida	<ul style="list-style-type: none"> • Tramas de transmisión • Sincronización
Capa 1: Capa física	Transmisión (radioeléctrica física)	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersión de energía. • Codificación convolucional. • Intercalado de tiempo. • Intercalado de frecuencias. • Modulación PDM-4D, OFDM. • Transmisión radioeléctrica.

Tabla 5.1 : Modelo por capas OSI en DAB

El estándar IBOC, trabaja mediante el mismo modelo pero con una definición de capas muy diferente. Se cuenta con cinco capas (*Figura 5.1*). Estas capas son independientes del modo de radiodifusión. La Capa 5 recibe el material que está siendo transmitido y la Capa 4 codifica dicha información, la cual es entonces multiplexada en canales lógicos por las Capas 3 y 2 que alimentan a la Capa 1, la cual finalmente da formato a la señal para su transmisión.

La diferencia en definiciones de capas entre un estándar y otro, se debe principalmente a la naturaleza de la tecnología y a las diferencias en como la información es canalizada. Mientras que para los europeos, fue más fácil explicar su tecnología mediante un modelo ya predeterminado, para los norteamericanos la aplicación del mismo modelo no satisfacía del todo ciertos criterios. Esto debido a que algunas capas no pueden ser definidas de manera separada pues trabajan de manera “superpuesta”.

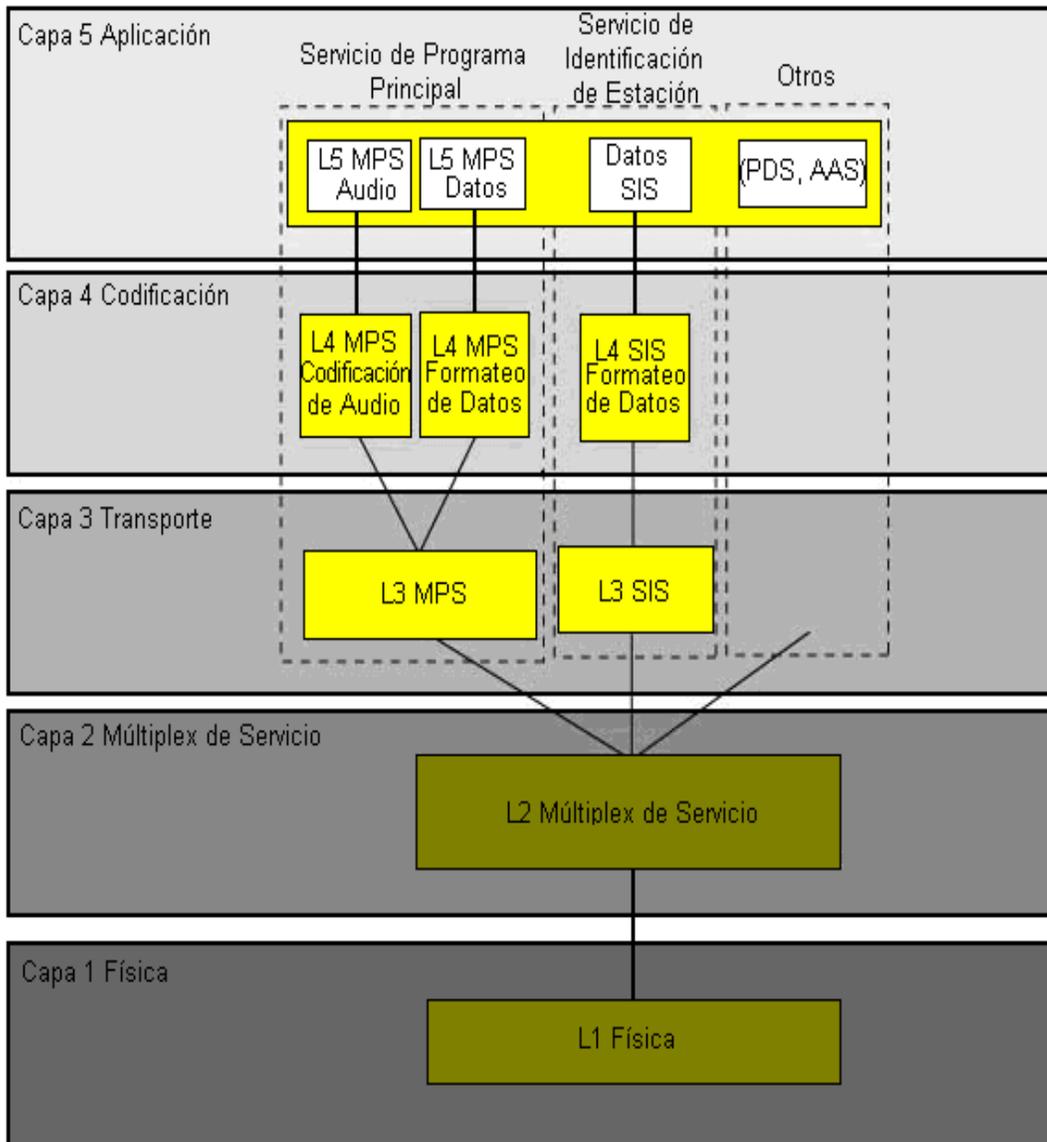


Figura5.1 Modelo por capas IBOC ^[2]

Con el fin de lograr una comparación técnica que se ajuste a los requerimientos de esta investigación, es necesario realizar equivalencias entre el modelo presentado por el estándar DAB y el modelo presentado por el estándar IBOC.

En un inicio, el modelo de IBOC no cuenta con las capas de presentación, sesión, red y enlace de datos que componen al modelo OSI y dado que el modelo de IBOC no es un modelo estandarizado sino más bien, un modelo “ad-hoc” para su tecnología, La *Tabla 5.2* presenta una equivalencia entre las capas IBOC y las capas del modelo OSI (estandarizado) en DAB.

Modelo por capas DAB.	Modelo por capas IBOC	Observaciones.
Capa de Aplicación.	Capa de Aplicación.	
Capa de Presentación.	Capa de Codificación.	Aunque el nombre cambia, los procesos internos son los mismos.

Capa de Sesión.	Capa de Transporte y Capa del Múltiplex de Servicio	Las capas de transporte y múltiplex en IBOC, realizan los mismos procesos que las de sesión, transporte y red en DAB.
Capa de Transporte.		
Capa de Red.		
Capa de Enlace de Datos.	Capa Física	La Capa Física IBOC describe el formato de la señal y la características radioeléctricas de la señal transmitida (modulación, entrelazado, codificación), características descritas por las Capas Físicas y de Enlace de Datos en DAB.
Capa Física.		

Tabla5.2 Equivalencias entre las capas del modelo OSI y las capas IBOC

A continuación se presenta la comparación capa por capa, en donde se describirán los procesos utilizados por ambas tecnologías.

Capa de aplicación

La capa de aplicación, considera las facilidades y la calidad audio que da el sistema de radiodifusión digital y que las entidades de radiodifusión pueden ofrecer a sus oyentes, así como los distintos modos de transmisión.

Capa de aplicación en DAB [3].

La señal DAB, se compone de un múltiplex de datos digitales y varios programas al mismo tiempo. El múltiplex contiene datos radiofónicos y datos auxiliares que incluyen información asociada al programa (PAD), información de configuración del múltiplex (MCI) e información de servicio (SI). También puede cursar servicios de datos generales que pueden no estar relacionados con la transmisión de programas radiofónicos. En particular, se ponen a disposición del usuario las facilidades siguientes:

- La señal de audio (es decir, el programa) proporcionada por el servicio de programa seleccionado.
- La aplicación opcional de funciones de receptor, por ejemplo, el control de gama dinámica que puede utilizar datos auxiliares cursados con el programa.
- Un texto visualizado de información seleccionada que va en la SI. Puede tratarse de información sobre el programa seleccionado o sobre otros programas disponibles en selección opcional.
- Opciones que pueden estar disponibles para seleccionar otros programas, otras funciones de receptor y otra SI.
- Uno o más servicios de datos generales, por ejemplo, un canal de mensajes de tráfico (TMC).

Dentro de la capacidad del múltiplex está la de elegir el número de servicios de programa y, para cada uno de ellos, el formato de presentación (por ejemplo,

estereofónico, monofónico, sonido periférico, etc.), la calidad de audio y el grado de protección contra errores (y con ello su fiabilidad) a fin de atender las necesidades de las entidades de radiodifusión. La calidad de audio dispone de la siguiente gama de opciones ^[1]:

- Calidad muy elevada, con margen para el procesamiento audio,
- Calidad subjetivamente transparente, suficiente para la calidad máxima de radiodifusión,
- Calidad elevada, equivalente a una buena calidad de servicio FM,
- Calidad media, equivalente a una buena calidad de servicio AM,
- Calidad de conversación únicamente.

DAB puede ser utilizado en el intervalo de 30 MHz a 3 GHz (rango de frecuencias que incluye las bandas VHF I, II y III, las bandas UHF IV y V y la banda L. Para esto, el sistema cuenta con cuatro modos alternativos de transmisión. Estos modos de transmisión están concebidos a fin de compensar la dispersión Doppler y la dispersión por retardo, para la recepción móvil en presencia de ecos debidos a propagación por trayectos múltiples. Además, proporcionan una buena relación entre la distancia de separación del transmisor y la degradación por el efecto Doppler.

La *Tabla 5.3* proporciona la duración del intervalo de guarda y el rango nominal de frecuencias para la recepción móvil. La degradación debida al ruido a la frecuencia máxima y en la condición más crítica de propagación multitrayecto, que se produce poco frecuentemente en la práctica, es de 1 dB a 100 Km/h.

Parámetro	Modo I	Modo II	Modo III	Modo IV
Duración del intervalo de guarda (us).	246	62	31	123
Retardo de eco acumulativo (us).	300	75	37,5	150
Rango nominal de frecuencias	<375 MHz	<1.5 GHz	<3 GHz	1.5 GHz

Tabla 5.3 Duración del intervalo de guarda y gama nominal de frecuencias para recepción móvil ^[1]

- El Modo I es para operaciones SFN a frecuencias por debajo de los 300 MHz.
- El Modo II fue diseñado para servicios locales y regionales con frecuencias por debajo de los 1.5 GHz.
- El Modo III está disponible para transmisión vía satélite por debajo de los 3 GHz.
- El Modo IV permite a los transmisores proveer una óptima cobertura en áreas extensas operando en Banda-L. Sus parámetros están entre el Modo I y II.

De la *Tabla 5.3* puede deducirse que la utilización de frecuencias elevadas impone una mayor limitación al retardo de eco máximo.

Capa de aplicación IBOC

La tecnología IBOC permite a los organismos de radiodifusión introducir las mejoras de la radiodifusión digital, sin necesidad de utilizar nuevas atribuciones de espectro gracias a que se puede enviar la señal digital dentro del espectro asignado por el ente regulador (para el caso de México, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes). Las estaciones existentes pueden difundir la misma programación en modo analógico y en modo digital, lo que proporciona un medio eficaz, desde el punto de vista de utilización del espectro, para hacer una transición racional del actual entorno analógico a un futuro entorno digital. Así, los radios que no son digitales pueden continuar recibiendo el audio tradicional analógico, mientras que los receptores digitales pueden beneficiarse con las mejoras de la radio digital además de poder recibir también la señal analógica como respaldo.

El sistema, ya sea para Amplitud Modulada o para Frecuencia Modulada, cuenta con dos modos principales de transmisión, híbrido y analógico. Además, se cuenta internamente con diferentes modos de servicio que dictan la configuración y desempeño de los canales lógicos. Para el caso de IBOC AM, se cuentan con dos modos que son AM1 (para el modo híbrido) y AM3 (para el modo totalmente digital)^[4]. Para el caso de FM^[5], existen dos tipos de servicio básicos:

- Primario: Configura los canales lógicos primarios.
- Secundario: Configura los canales lógicos secundarios.

Todas las formas de onda requieren la definición de los modos de servicio primarios y secundarios.

- Los servicios primarios activos son: PM1, PM2, PM3, PM4, PM5 y PM6.
- Los servicios secundarios activos son: SM1, SM2, SM3 y SM4.

Cuando se transmite en modo totalmente digital, se requieren tanto los servicios primarios como los secundarios. Los modos de servicio PM1 a PM4 son inválidos para la transmisión totalmente digital, solamente los modos PM5 y PM6 pueden ser utilizados y cualquier combinación de estos modos de servicio con alguno de los secundarios es permitida.

En todos los modos de transmisión, la parte digital se compone de un múltiplex que contiene el Servicio de Programa Principal (MPS), Servicios de Aplicación Avanzada y Servicios de Información de la Estación. Entre las facilidades que se le otorgan al usuario se encuentran^[6]:

- La señal de audio, otorgada por el programa.
- Datos referentes a la señal de audio recibida como son título de canción, autor, artista, álbum, comentarios, etc.
- Información referente al radiodifusor.

- Servicios de información avanzados, que son servicios no referentes a la señal de audio transmitida, y cuyo contenido puede ser expresado como un archivo o un flujo de datos, incluyendo otros servicios de audio (efectos especiales asociados al audio, presentaciones multimedia de noticias, estado del tiempo, texto e imágenes, publicidad a la medida e información de navegación).

En cuanto a la calidad de audio, las transmisiones de AM mejoran su calidad a un nivel cercano al de FM y las transmisiones de FM logran un nivel de calidad cercano al de un disco compacto.

El sistema ofrece plena calidad de recepción dentro de los límites de cobertura del transmisor, la señal digital comienza a degradarse hasta llegar a un punto predefinido de BER en el que automáticamente cambiará al modo analógico hasta que se obtenga un nivel de BER aceptable, para el modo híbrido.

Ya sea en cualquiera de los dos bloques de frecuencias (AM o FM), o en su modo híbrido o totalmente digital, la señal digital compensa la dispersión Doppler.

Capa de presentación

La capa de presentación, se refiere a la conversión y presentación de la información de radiodifusión.

Capa de presentación DAB [3]

En el capítulo 3.1, se explico de manera detallada el funcionamiento de la Capa Audio II-ISO/IEC MPEG, con la que se realiza la codificación de la fuente en el sistema DAB. También se muestran las diferentes velocidades a las que trabaja.

Las señales audio pueden presentarse monofónica o estereofónicamente, o pueden agruparse los canales de audio para obtener sonido periférico. Los programas pueden enlazarse para ofrecer un mismo programa simultáneamente en distintos idiomas. Para satisfacer a los oyentes en entornos de alta fidelidad y de ruido, la entidad de radiodifusión puede transmitir opcionalmente una señal de control de gama dinámica (DRC) que puede utilizarse en un receptor situado en un entorno ruidoso para comprimir la gama dinámica de la señal de audio reproducida.

Las entidades de radiodifusión pueden explotar las distintas alternativas de velocidad binaria, dependiendo de la calidad requerida y/o del número de programas radiofónicos que se vayan a suministrar. Por ejemplo, el empleo de velocidades binarias mayores o iguales a 128 kbit/s para sonido monofónico, o superiores o iguales a 256 kbit/s para programa estereofónico, no sólo proporciona una calidad muy elevada, sino también cierto margen de tratamiento, suficiente para un nuevo proceso de codificación/decodificación múltiple, incluyendo el post-procesamiento de audio.

Incluso la velocidad binaria de 192 kbit/s para programa estereofónico satisface generalmente el requisito de la UER en cuanto a sistemas con reducción de velocidad binaria en audio digital. Una velocidad binaria de 96 kbit/s en sonido monofónico proporciona una buena calidad del sonido y con 48 kbit/s se puede obtener aproximadamente la misma calidad que la de las emisiones normales AM.

Con cada programa transmitido por el sistema puede disponerse de los elementos siguientes de la SI para ser visualizados en un receptor:

- Etiqueta básica del programa (nombre del programa).
- Hora y fecha.
- Referencia al mismo programa o a uno similar (por ejemplo en otro idioma) que se transmite en otro conjunto o se difunde simultáneamente por un servicio AM o FM.
- Etiqueta de servicio ampliado para los servicios relacionados con el programa.
- Información de programa (por ejemplo los nombres de los realizadores).
- Idioma.
- Tipo de programa (por ejemplo, noticias, deportes, música, etc.).
- Identificador del transmisor.
- Canal del mensaje de tráfico (TMC, que puede utilizar un sintetizador vocal en el receptor).

También pueden incluirse datos de la red del transmisor para uso interno de las entidades de radiodifusión.

Capa de presentación IBOC

La codificación de fuente se realiza con el códec AAC+ descrito en la sección 3.1. La gama de codificación va de 48 Kbps a 96 Kbps presentando una calidad de audio muy superior.

La información del servicio o PSD, utiliza el estándar ID3, que es un estándar de facto utilizado para incluir metadatos en un contenedor multimedia. Dicho estándar proporciona la siguiente información ^[7]:

- **Título:** Título de canción, tema de discusión o título del anuncio publicitario.
- **Artista:** Nombre del artista, presentador.
- **Álbum:** Título del álbum, nombre del show.
- **Género:** Género de música.
- **Comentarios:** Sitio web de contacto, número para llamar al show.
- **Descripción del programa.**
- **Descripción de anuncios.**

- **Identificadores de referencia:** Para transmitir mensajes de información MPS ya sea uno solo o varios separados y para proveer identificación de información adicional y referencias cruzadas para futuras mejoras.

Además, utilizando el estándar para RDS/TMC, el Canal de Información de Tráfico (TMC) es una aplicación que transmite información en tiempo real del tráfico.

En un futuro, se espera contar con programas de audio principal controlados por el usuario, servicios de audio secundario múltiples, información adicional, guía de programación electrónica, acceso condicional y capacidad de transmitir archivos pesados.

Capas de sesión, transporte y red

Estas capas se refieren a la selección de información de radiodifusión y al acceso a la misma, a la identificación de grupos de datos como servicios de programa, a la multiplexación de datos para dichos servicios y la asociación de elementos de los datos multiplexados. También, a la identificación de grupos de datos como programas.

Capa de sesión, transporte y red en DAB [3]

Para que un receptor pueda acceder a cualquiera de los servicios individuales o a todos ellos con un retardo mínimo, el FIC cursa información acerca del contenido actual y futuro del múltiplex. Esta información es la MCI que puede leerse en máquina. Los datos del FIC no están entrelazados en el tiempo, de forma que la MCI no sufre el retardo inherente al proceso de entrelazado que se aplica a los servicios de audio y de datos generales. No obstante, estos datos se repiten frecuentemente para asegurar su fiabilidad. Cuando la configuración del múltiplex está a punto de cambiar se envía con antelación en la MCI la nueva información, junto con la temporización del cambio.

El usuario de un receptor puede seleccionar programas basándose en la información textual incorporada en la SI, utilizando el nombre de servicio del programa, la identidad del tipo de programa o el idioma. La selección se realiza en el receptor utilizando los elementos correspondientes de la MCI. Si se dispone de fuentes alternativas de un servicio de programa elegido y no puede sostenerse un servicio digital original, pueden utilizarse los datos de enlace cursados en la SI (es decir, la referencia) para identificar una alternativa (por ejemplo, en un servicio FM) y conmutar a ella. No obstante, en dicho caso, el receptor volverá a pasar al servicio original tan pronto como sea posible la recepción.

También se puede proporcionar la sincronización y el control de acceso condicional. El acceso condicional puede aplicarse independientemente a cada una de las componentes del servicio (incorporado en el canal de servicio principal o en el canal de información rápida), a los servicios o a todo el múltiplex.

En el sistema DAB, un servicio de programa comprende generalmente una componente del servicio de audio y, opcionalmente componentes del servicio de datos y/o de audio adicionales. Toda la capacidad del múltiplex puede estar dedicada a un suministrador del servicio (por ejemplo, difundiendo cinco o seis programas radiofónicos de alta

calidad), o puede estar dividida entre varios suministradores del servicio (por ejemplo, difundiendo de forma colectiva unos veinte programas radiofónicos de calidad media).

Múltiplex de servicio principal DAB [3]

Los datos que representan cada uno de los programas que se difunden (datos de audio digital con algunos datos auxiliares y, tal vez, datos generales) se someten a una codificación convolucional y a un entrelazado temporal para protección contra errores. El entrelazado temporal mejora la seguridad de la transmisión de datos en un entorno cambiante (por ejemplo, la recepción en un receptor a bordo de un vehículo en movimiento) e impone un retardo de transmisión predecible. Los datos entrelazados y codificados se aplican al multiplexor de servicio principal en el que, cada 24 ms, se reúnen los datos secuencialmente en la trama del múltiplex. La salida del tren binario combinada del multiplexor se denomina canal MSC y tiene una capacidad bruta de 2,3 Mbit/s. Dependiendo de la velocidad de código elegida (que puede ser distinta de una aplicación a otra), se obtiene una velocidad binaria neta que va desde unos 0,8 a 1,7 Mbit/s, con una anchura de banda de 1,5 MHz. El multiplexor de servicio principal es el punto en que se reúnen los datos sincronizados procedentes de todos los servicios de programas que utilizan el múltiplex. Los datos generales pueden enviarse en el MSC como una cadena no estructurada u organizarse como un múltiplex de paquetes en el que se combinan diversas fuentes. La velocidad de datos puede ser cualquier múltiplo de 8 kbit/s, sincronizada con el múltiplex del sistema, siempre que haya suficiente capacidad del múltiplex, teniendo en cuenta la demanda de servicios de audio. El FIC es exterior al MSC y, como se dijo anteriormente, no lleva entrelazado temporal. La *Figura 5.2* presenta lo descrito anteriormente.

Existen tres áreas en que pueden cursarse los datos auxiliares en el múltiplex del Sistema:

- **El FIC** que tiene una capacidad limitada, dependiendo del volumen de la MCI fundamental incluida, se prevé especialmente cursar una cantidad moderada de PAD en cada canal de audio. Todos los datos auxiliares restantes se tratan como servicio separado en el MSC. La presencia de esta información se señala en la MCI.
- **La MCI** que va en el FIC ofrece una descripción precisa del contenido actual y futuro del MSC. También pueden ir en el FIC elementos esenciales de SI que se refieren al contenido del MSC (es decir, para selección de programas). Pueden cursarse separadamente como un servicio de datos general textos más amplios, como puede ser una lista de todos los programas del día. Así pues, la MCI y la SI contienen contribuciones de todos los programas que se están difundiendo.
- **Los PAD** que van en cada canal de audio incluyen principalmente información íntimamente relacionada con el programa radiofónico y que, por tanto, no puede enviarse en un canal de datos distinto que pueda estar sometido a un retardo de transmisión diferente.

Los procesos en el codificador en la fuente de audio se efectúan en tramas audio ISO de 24 ms de duración. La atribución de bits, que varía de una trama a otra, y los factores de escala se codifican y multiplexan con las muestras sub-banda en cada trama de audio ISO. La unidad de empaquetamiento de trama ensambla el tren binario real de los datos

de salida del cuantificador y la unidad de codificación, y añade otras informaciones, tales como la información de encabezamiento, palabras CRC para detección de errores y PAD que se desplazan junto con la señal de audio codificada. Cada canal de audio contiene un canal PAD con capacidad variable (generalmente 2 kbit/s como mínimo) que puede utilizarse para llevar información íntimamente relacionada con el programa radiofónico.

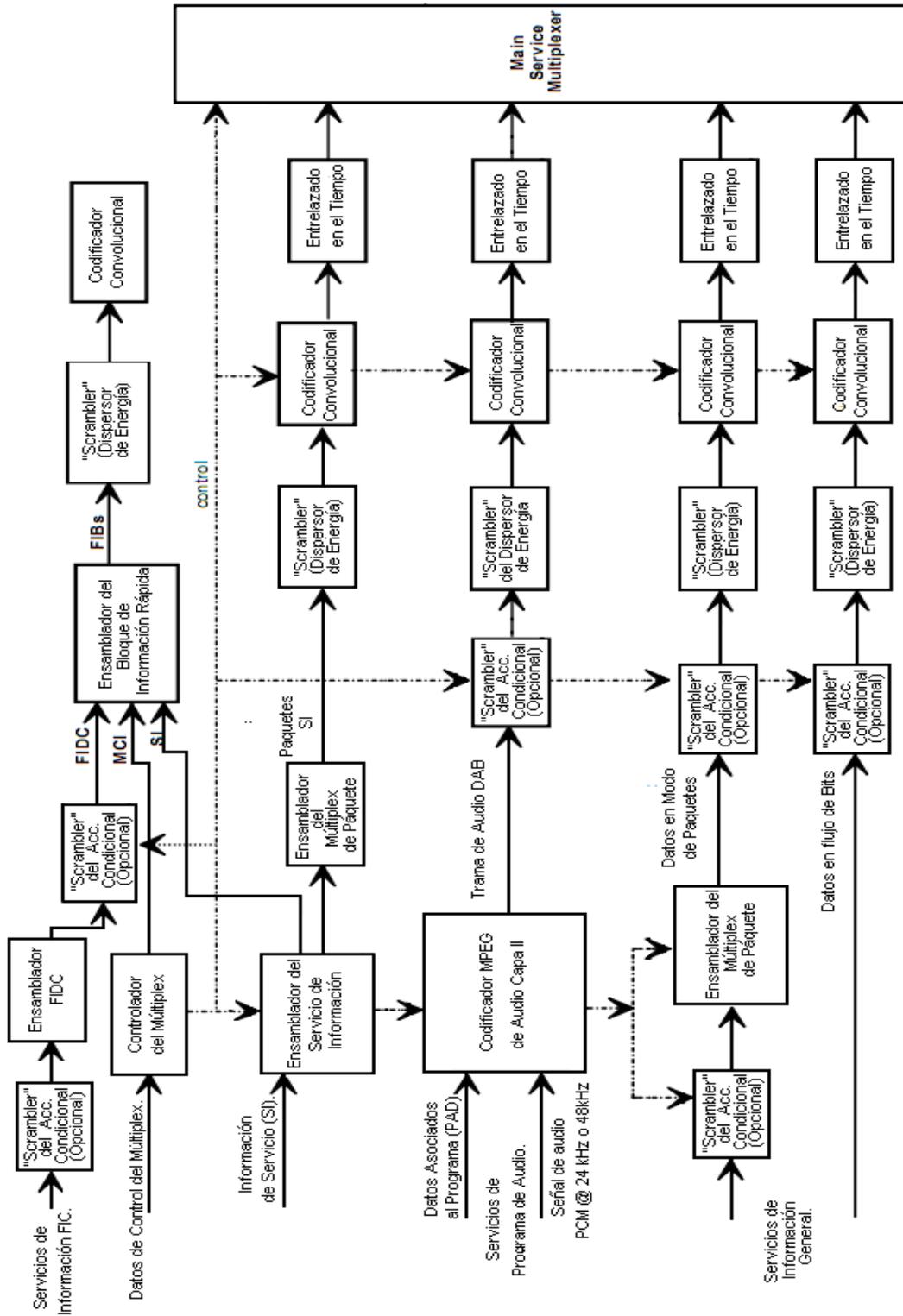


Figura 5.2 Diagrama de bloques del proceso de multiplexación en DAB

Capas de transporte y múltiplex de servicio en IBOC

En el sistema IBOC, el usuario puede seleccionar programas basándose en la información proporcionada en el PSD, la gama de información presentada es la descrita en la capa de presentación. La primera generación del estándar, no cuenta con la posibilidad de acceso condicional, aunque éste está en desarrollo.

Múltiplex IBOC ^[6]

La función primaria de estas etapas es la de recibir la información y el audio de las capas superiores, multiplexar dicha información en Unidades de Datos de Protocolo (PDU) y enlutar dichos PDU's a un canal lógico. Este proceso, permite el soporte para transportar cuatro servicios descritos a continuación:

- **Servicio de Programa Principal (MPS)**, el cual incluye al Audio del Servicio de Programa Principal (MPSA) y a la Información de Servicio de Programa Principal (MPSD). Los PDU's son generados por el Transporte de Audio y encapsulan tanto al MPSA como al MPSD (*Figura 5.3*).
- **Servicio de Programa Suplementario**, provee al radiodifusor la opción de multiplexar programas adicionales con el MPS. El SPS incluye el Servicio de Programa Suplementario tanto de Audio como de Información.
- **Servicios de Aplicación Avanzada (AAS)**, provee al radiodifusor la opción de multiplexar contenidos adicionales, diferentes de los nativos del SPS, dentro del MPS. Este provee el transporte de paquetes del mecanismo para esos servicios, también realiza el entramado y el encapsulado de los paquetes de información.
- **Servicio de Información de la Estación**, es un enlace de transporte especializado para transmitir información SIS en los canales lógicos del servicio de información IBOC primario. Para este caso, no se realiza multiplexación alguna por lo que los PDU's de SIS van directamente hacia la capa de red.

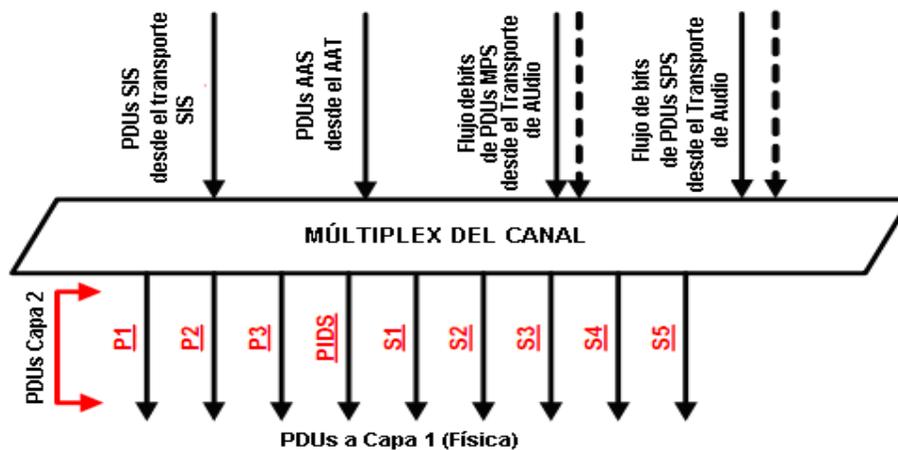


Figura5.3 Múltiplex IBOC

El múltiplex, está siempre al tanto de los requerimientos de configuración de transporte (e.g. mapeo de canal y requerimientos de ancho de banda). Esto permite una alta sincronización entre los flujos de datos entre el programa analógico y el digital. Además, el múltiplex tiene la capacidad de reconfigurarse dinámicamente.

El control y estado del sistema IBOC, es manejado por el administrador de configuración, mediante el Canal de Control del Sistema. El tipo de modo tanto en AM y FM, alojamientos de ancho de banda, información específica enviada a través e los canales lógicos son controlados por el administrador de configuración y determinan todas las configuraciones posibles en los canales lógicos.

Canales lógicos en IBOC FM ^[5]

Existen cuatro canales lógicos primarios que se utilizan con las formas de onda híbrida y completamente digital. Se denominan P1, P2, P3 y servicio de datos IBOC primario (PIDS). En la *Tabla 5.4*, se indica la velocidad de transmisión de la información teórica soportada por cada canal lógico primario en función del modo de servicio primario.

Modo de servicio	Velocidad de transmisión de la información teórica (kbit/s)				Forma de onda
	P1	P2	P3	PIDS	
MP1	25	74	0	1	Híbrida
MP2	25	74	12	1	Híbrida ampliada
MP3	25	74	25	1	Híbrida ampliada
MP4	25	74	50	1	Híbrida ampliada
MP5	25	74	25	1	Híbrida ampliada, completamente digital
MP6	50	49	0	1	Híbrida ampliada, completamente digital

Tabla 5.4 Velocidad de transmisión de la información teórica de los canales lógicos primarios

Existen seis canales lógicos secundarios que se utilizan únicamente con la forma de onda completamente digital. Se denominan S1, S2, S3, S4, S5 y servicio de datos IBOC secundario (SIDS). La *Tabla 5.5* muestra la velocidad de transmisión de la información teórica aproximada soportada por cada uno de los canales lógicos secundarios en función del modo de servicio secundario.

Modo de servicio	Velocidad de transmisión de la información aproximada (kbit/s)						Forma de onda
	S1	S2	S3	S4	S5	SIDS	
MS1	0	0	0	98	6	1	Completamente digital
MS2	25	74	25	0	6	1	Completamente digital
MS3	50	49	0	0	6	1	Completamente digital
MS4	25	98	25	0	6	1	Completamente digital

Tabla 5.5 Velocidades de transmisión de la información teórica aproximada de los canales lógicos secundarios

Los canales lógicos P1 a P3 se diseñan para transportar señales de audio y datos. Los canales S1 a S5 pueden configurarse para cursar datos o señal de sonido ambiente. Los canales lógicos del PIDS y del SIDS están diseñados para transportar la información del servicio de datos IBOC (SIS).

Canales lógicos en IBOC AM ^[4]

En IBOC AM, existen solamente cuatro canales lógicos. P1, P3 y PIDS. P1 y P3 sirven para cursar la información del MPS y el AAS y el PIDS cursa la información del SIS.

Capas de enlace y física

En este apartado se toman en cuenta los medios para la sincronización del receptor y todo lo relacionado con la transmisión radioeléctrica (es decir, el tipo de modulación y la protección contra errores asociada).

Trama de transmisión DAB ^[3]

Para facilitar la sincronización en el receptor, la señal transmitida se forma con una estructura de trama regular (véase la Figura 5.4). Cada trama de transmisión comprende una secuencia fija de símbolos. El primero es un símbolo nulo para la sincronización aproximada (cuando no se transmite ninguna señal RF), seguido de un símbolo de referencia fija para lograr una sincronización fina, el control automático de ganancia (AGC) y el control automático de frecuencia (AFC) y las funciones de referencia de fase en el receptor; estos símbolos constituyen el canal de sincronización. Los símbolos siguientes se reservan para el FIC y los símbolos restantes constituyen el MSC. La duración total de la trama, T_f , es de 96 ms, 48 ms o 24 ms, dependiendo del modo de transmisión, como se explicó en el capítulo 4.

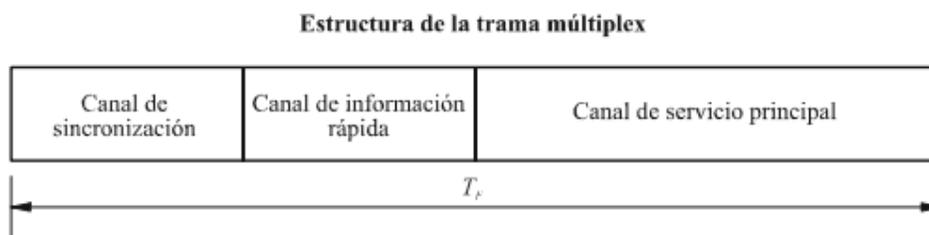


Figura 5.4 Trama de transmisión DAB

El sistema DAB, para asegurar una adecuada dispersión de energía en la señal transmitida, aleatoriza las fuentes individuales aplicadas al múltiplex, también se les aplica codificación convolucional para asegurar una recepción fiable. El proceso de codificación supone añadir deliberadamente redundancias a las ráfagas de datos de la fuente (utilizando una longitud de restricción de 7). Con esto se obtienen ráfagas de datos «brutos».

En el caso de una señal de audio, se da una mayor protección a algunos bits codificados en la fuente que a otros, siguiendo un esquema preseleccionado que se conoce como perfil de protección contra errores desigual (UEP). La velocidad media de codificación, definida como la relación entre el número de bits codificados en fuente y el número de bits codificados tras la codificación convolucional, puede adoptar un valor que va desde 1/3 (nivel máximo de protección) a 3/4 (nivel mínimo de protección). Pueden aplicarse distintas velocidades medias de codificación a las diferentes fuentes de audio, dentro del nivel de protección requerido y de la velocidad binaria de los datos codificados en la fuente. Por ejemplo, el nivel de protección de los servicios audio que van por las redes de cable puede ser inferior al de los servicios transmitidos por canales de

radiofrecuencia. Por el otro lado, los servicios de datos generales llevan codificación convolucional utilizando una velocidad seleccionada entre varias velocidades uniformes. Los datos del FIC se codifican a velocidad constante de 1/3.

Entrelazado temporal y en frecuencia

Para mejorar las prestaciones de los receptores móviles se aplica a los datos con codificación convolucional un entrelazado temporal con una profundidad de intercalado de 16 tramas. Además, un entrelazado de frecuencia reordenando el tren binario digital entre las portadoras de forma que las muestras de fuentes sucesivas no resultan afectadas por el desvanecimiento selectivo. Cuando el receptor es estacionario, la diversidad en el dominio de la frecuencia es el método principal para asegurar una recepción correcta.

Modulación

El sistema DAB utiliza una modulación 4D-PSK OFDM. En resumen, el principio, descrito anteriormente, consiste en dividir la información que se transmite en un gran número de trenes binarios con velocidades binarias bajas individuales, que se utilizan para modular portadoras individuales (El proceso de modulación se encuentra descrito con detalle en la sección 4.1). Como dato adicional, se muestra el espectro teórico del DAB, para el modo de transmisión II (*Figura 5.5*).

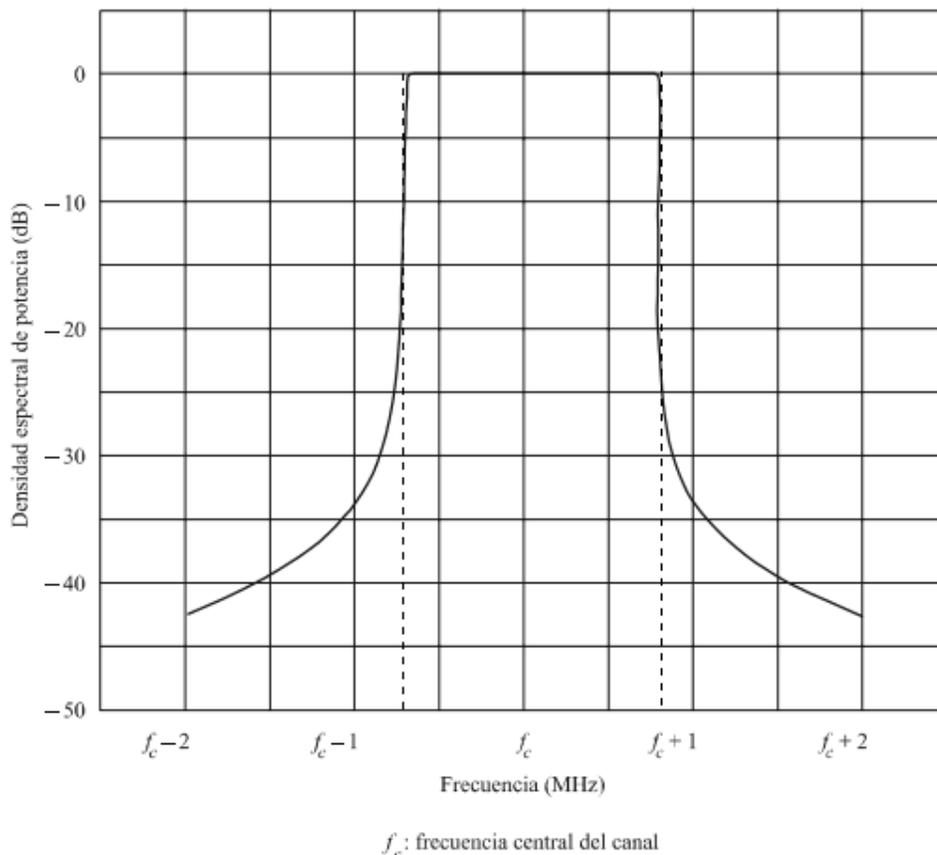


Figura 5.5 Espectro teórico de la señal de transmisión del sistema DAB en el Modo II

El espectro de la señal radiada fuera de banda en cualquier banda de 4 Hz debe venir limitado por una de las plantillas de la *Figura 5.6*. La plantilla de línea continua debe aplicarse a los transmisores en la banda de ondas métricas que funcionan en casos críticos. La plantilla de línea discontinua debe aplicarse a los transmisores en la banda de ondas métricas que funcionan en casos no críticos o en la banda de 1,5 GHz y la plantilla de línea de puntos debe aplicarse a los transmisores en la banda de ondas métricas que funcionan en ciertas áreas donde se utiliza el bloque de frecuencias 12D.

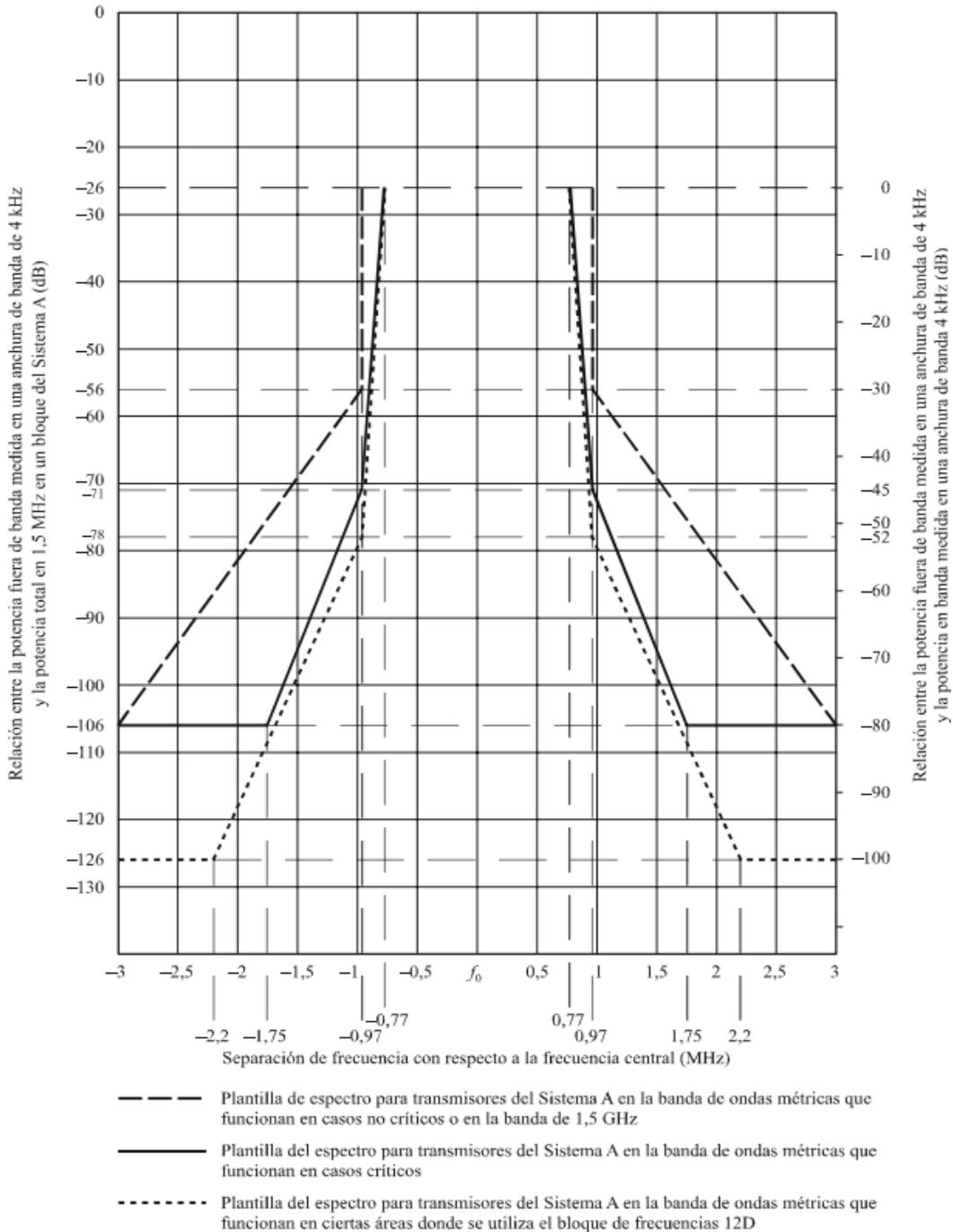


Figura 5.6 Plantillas del espectro fuera de banda para una señal de transmisión del sistema DAB

La Recomendación ITU BS-1114, presenta una serie de pruebas de evaluación del sistema DAB. Las pruebas fueron realizadas utilizando el Modo I en 226 MHz y el Modo II en 1480 MHz para una cierta variedad de condiciones que representan la recepción fija y móvil. Además, se efectuaron mediciones de la tasa de bits erróneos (BER) en función de la relación S/N en un canal de datos, con las siguientes condiciones:

$$\begin{aligned} D=64 \text{ kbps}, \quad R=0,5 \\ D=24 \text{ kbps}, \quad R=0,375 \end{aligned}$$

Donde:

D: La velocidad de transmisión de datos de la fuente.

R: La velocidad media de codificación de canal.

BER en función de la relación S/N (en 1,5 MHz) en un canal gaussiano

Para ajustar la relación S/N a la entrada del receptor se añadió ruido blanco aditivo gaussiano. Los resultados se representan en las Figuras 5.7 y 5.8. Como ejemplo, para $R=0,5$, los resultados medidos que aparecen en la Figura 5.7 pueden compararse con los obtenidos mediante una simulación por ordenador, a fin de comprobar el comportamiento inherente del sistema. Puede observarse que para una BER de 1×10^{-4} se obtiene un margen de realización inferior a 1,0 dB.

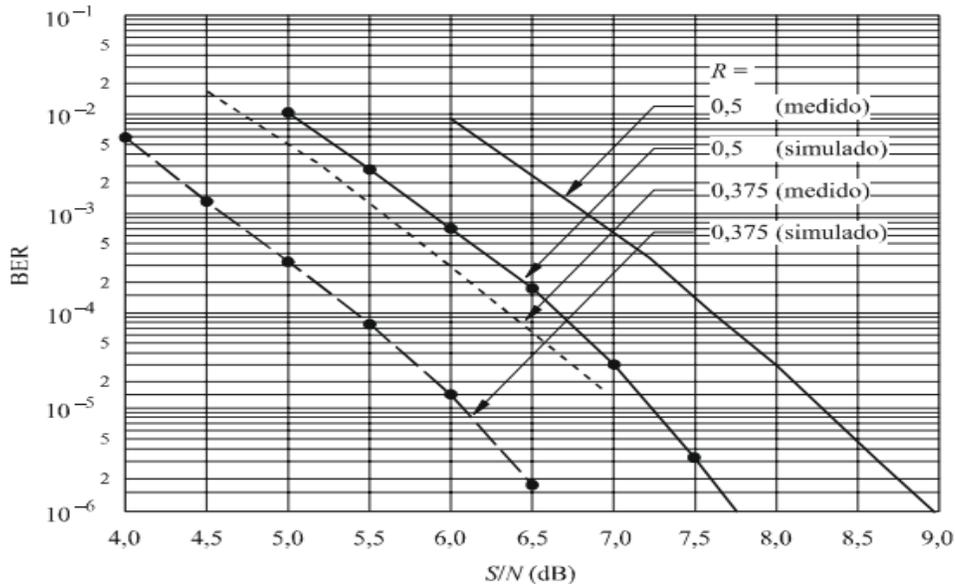


Figura 5.7 BER en función de la relación S/N para el sistema DAB (Modo de transmisión I): Canal Gaussiano

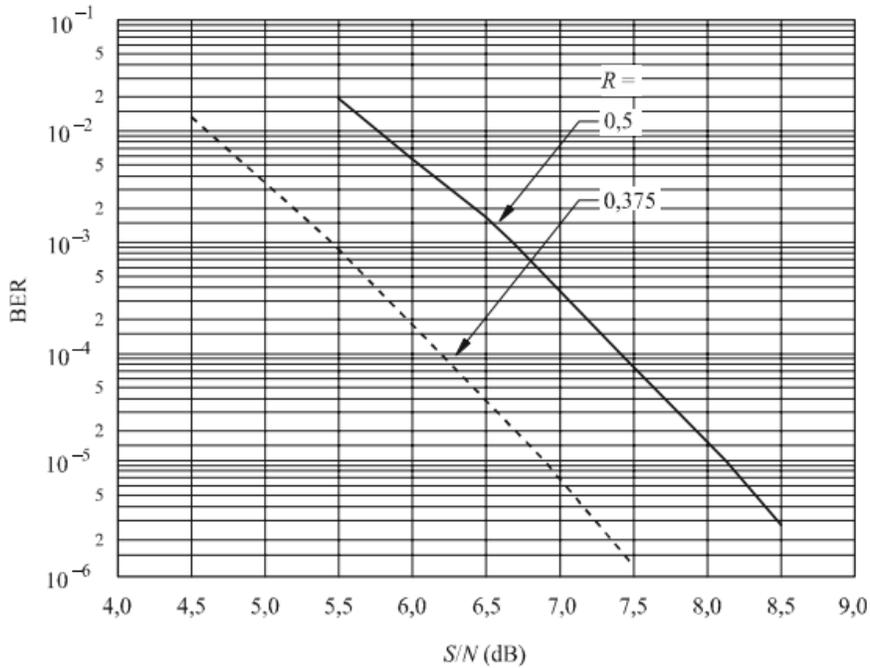


Figura 5.8 BER en función de la relación S/N para el sistema DAB (Modo de transmisión II ó III): Canal gaussiano

BER en función de la relación S/N (en 1,5 MHz) en un canal Rayleigh simulado en entorno urbano

Este apartado describe las mediciones de la BER en función de la relación S/N en los canales de datos, utilizando un simulador de canal con desvanecimiento. Las simulaciones del canal de Rayleigh corresponden a una zona urbana típica, 0-0,5 μ s y con el receptor desplazándose a una velocidad de 15 km/h. Los resultados se muestran en las Figuras 5.9 y 5.10.

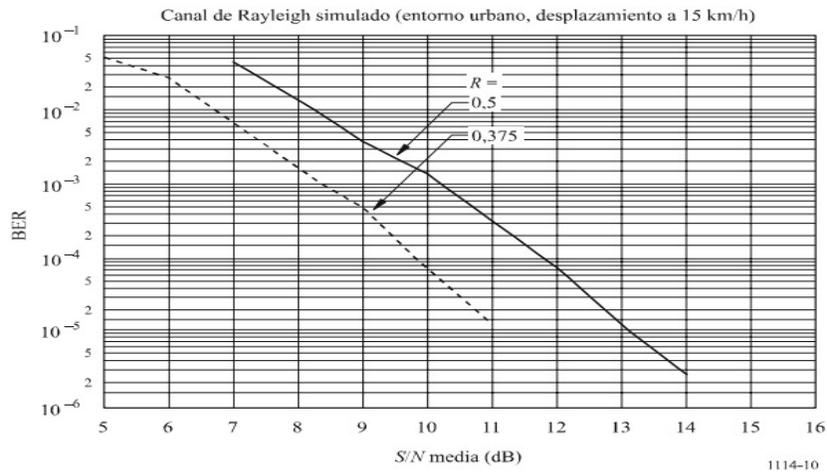


Figura 5.9 BER en función de la relación S/N para el sistema DAB (Modo de transmisión I @ 226 MHz)

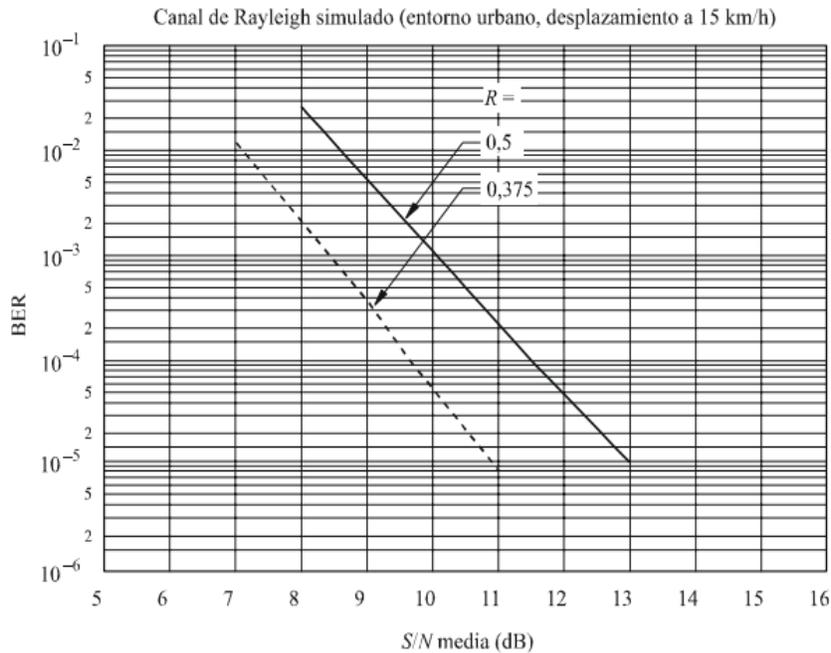


Figura 5.10 BER en función de la relación S/N para el sistema DAB (Modo de transmisión II @ 1480 MHz)

Calidad del sonido en función de la relación S/N en radiofrecuencia

Se presentan datos de evaluaciones subjetivas para determinar la calidad del sonido en función de la relación S/N. El trayecto de transmisión incluía equipos para establecer el valor de S/N en un canal gaussiano y, utilizando un simulador de canal con desvanecimiento, en un canal de Rayleigh. Se utilizaron dos modelos de simulación distintos en el caso de un canal de Rayleigh, los mismos descritos en los párrafos anteriores.

En cada caso se realizó una prueba de escucha en la que se redujo el valor medio de la relación S/N en pasos de 0,5 dB para establecer, de forma secuencial, las condiciones siguientes:

- El principio de la degradación, que es el punto en el cual los efectos de los errores empiezan a ser apreciables. Se ha definido como el punto en el que pueden escucharse los efectos de tres o cuatro sucesos relacionados con los errores durante un periodo de unos 30s.
- El punto de fallo, que es el punto en el cual un oyente probablemente dejaría de oír el programa debido a que es ininteligible o porque ya no experimenta ningún placer escuchándolo. Se ha definido como el punto en que aparecen de forma virtualmente continua los efectos de los sucesos relacionados con los errores y se produce silenciamiento dos o tres veces durante un periodo de unos 30 s.

En cada prueba se registraron dos valores de la relación S/N. Los resultados se presentan en las *Tablas 5.4, 5.5 y 5.6.*

Codificación de fuente		Velocidad media de la codificación de canal	Principio de la degradación S/N (dB)	Punto de fallo S/N (dB)
Velocidad binaria (kbit/s)	Modo			
256	Estéreo	0,6	7,6	5,5
224	Estéreo	0,6	8,3	5,9
224	Estéreo	0,5	7,0	4,8
224	Estéreo conjunto	0,5	6,8	4,5
192	Estéreo conjunto	0,5	7,2	4,7
64	Mono	0,5	6,8	4,5

Tabla 5.4 Calidad del sonido en función de la relación S/N para DAB (Modo de transmisión I): Canal Gaussiano

Codificación de fuente		Velocidad media de la codificación de canal	Principio de la degradación S/N (dB)	Punto de fallo S/N (dB)
Velocidad binaria (kbit/s)	Modo			
256	Estéreo	0,6	7,7	5,7
224	Estéreo	0,6	8,2	5,8
224	Estéreo	0,5	6,7	4,9
224	Estéreo conjunto	0,5	6,6	4,6
192	Estéreo conjunto	0,5	7,2	4,6
64	Mono	0,5	6,9	4,5

Tabla 5.5 Calidad del sonido en función de la relación S/N para el Sistema A (Modo de transmisión II o III): canal gaussiano

Modo	Frecuencia (MHz)	Modo de canal	Velocidad (km/h)	Principio de la degradación S/N (dB)	Punto de fallo S/N (dB)
I	226	Urbano	15	16,0	9,0
II	1 500	Urbano	15	13,0	7,0
I	226	Rural	130	17,6	10,0
II	1 500	Rural	130	18,0	10,0

Tabla 5.6 Calidad del sonido en función de la relación S/N para el Sistema A canales de Rayleigh simulados (estéreo a 224 kbit/s, velocidad media de codificación de canal 0,5)

Capa física IBOC

En IBOC cada flujo de datos conducido por un canal lógico que sale de la capa de transporte y multiplex de servicio pasa por los procesos de “scrambling”, codificación de canal, entrelazado y proceso OFDM.

Proceso IBOC AM ^[8]

El flujo de bits sale de las capas superiores para luego entrar a un proceso de “scrambling” en donde dichos bits se reacomodan aleatoriamente para evitar periodicidades en la señal cuando la forma de onda se demodula. Al acabar el proceso, viene la codificación de canal, en donde se utiliza codificación convolucional para añadir redundancia a la información digital en cada canal lógico. El tamaño de los vectores del canal lógico es aumentado inversamente proporcional a la tasa de codificación. Estas técnicas son configurables por modo de servicio. El siguiente paso, es el proceso de entrelazado. En donde se aplica un entrelazado en tiempo y frecuencia para evitar efectos de ráfagas de errores, configurados por modo de servicio. A la salida, los canales lógicos pierden su forma para convertirse en una matriz. Cada matriz consiste de información referente a los canales lógicos y es asociada con una porción específica del espectro transmitido. Las designaciones de la matriz de entrelazado reflejan el mapeo espectral; “PU” y “PL”, por ejemplo, son mapeadas a las bandas laterales primarias mientras que S y T son mapeadas a las bandas laterales secundaria y terciaria, respectivamente. El diagrama de bloques del proceso se muestra en la *Figura 5.11*.

En el mismo nivel, se encuentra el procesamiento de control del sistema. En este bloque se genera un vector con secuencias de información de control del sistema que incluyen información recibida directamente del administrador de configuración (como el modo de servicio), y el estatus para la radiodifusión de las subportadoras de referencia.

El proceso de mapeo ya fue explicado con anterioridad. En resumen en este bloque se asignan la matrices de entrelazado y de control de sistema a las subportadoras OFDM. Una fila de cada una de las matrices de entrelazado activas y cada bit del vector control del sistema es procesada con un símbolo OFDM para producir un vector X de salida, el cual es una representación en el dominio de la frecuencia de la señal.

La salida del bloque anterior alimenta a la generación de la señal OFDM, la cual genera la porción digital del dominio de la forma de onda IBOC AM en el dominio del tiempo. Los vectores de entrada son transformados en pulsos banda base en el dominio del tiempo, definiendo un símbolo OFDM.

Ya en el último bloque, el subsistema de transmisión, se formatea la señal en banda base para transmitirla en el canal. En esta parte se incluye la concatenación de símbolos y conversión de frecuencia. Cuando se transmite en el modo híbrido, es en este bloque en donde se combina la señal analógica con la digital.

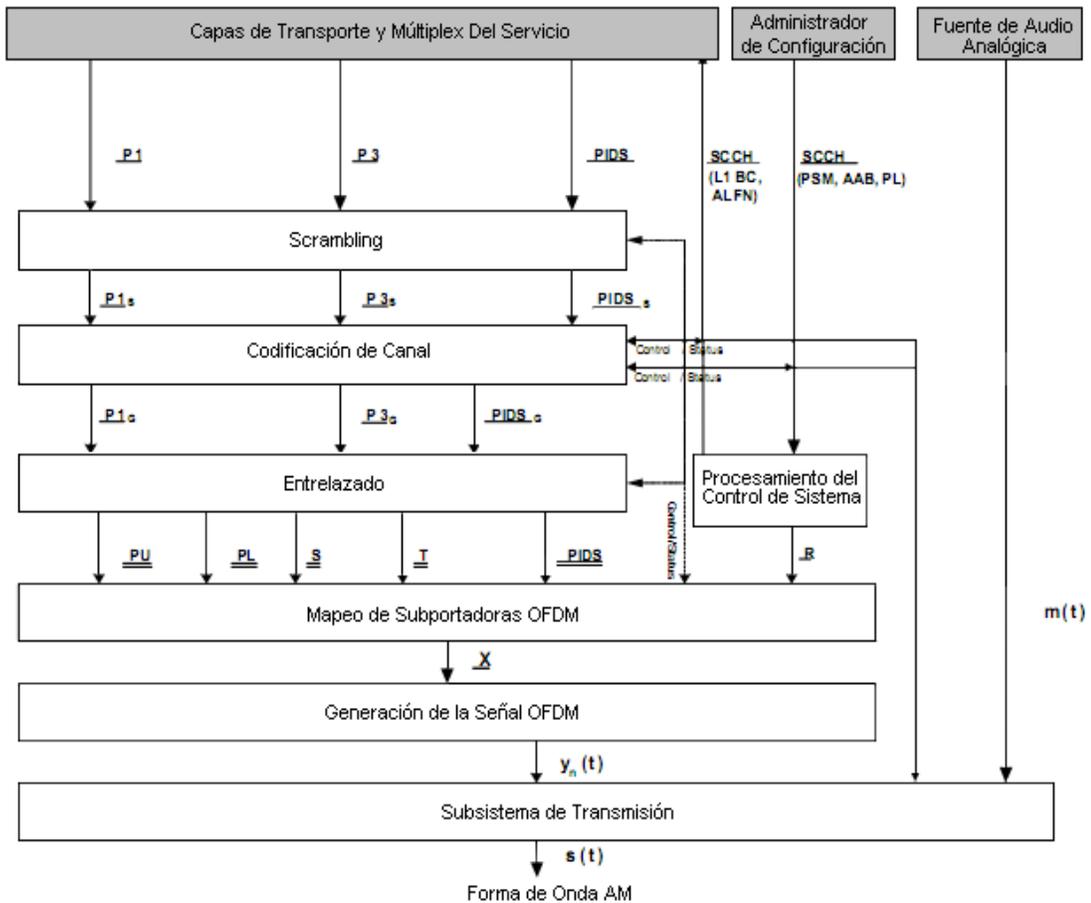


Figura 5.11 Diagrama de Bloques de la Capa Física IBOC AM

Para las transmisiones híbridas utilizando la opción de un ancho de banda analógico de 5KHz, el ruido y las señales espurias generadas desde todas las fuentes, incluyendo el ruido de fase y los productos de intermodulación, se deberán de conformar a los límites que se muestran en la Figura 5.12.. La Figura 5.13, presenta la plantilla para IBOC AM totalmente digital.

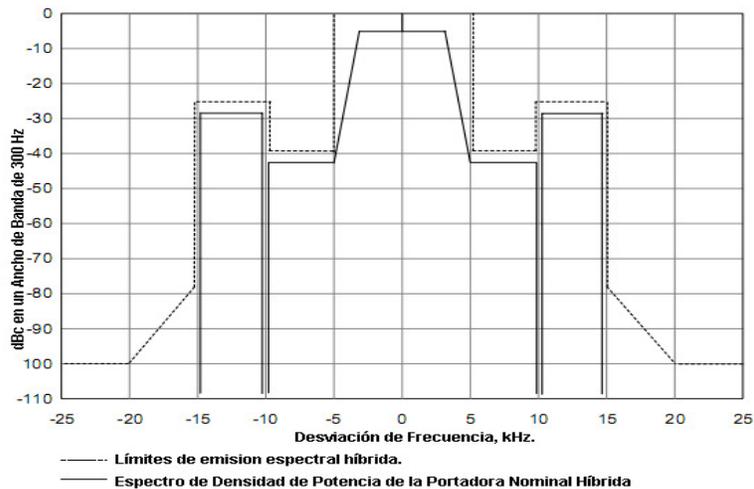


Figura 5.12 Mascara para el espectro IBOC AM híbrido

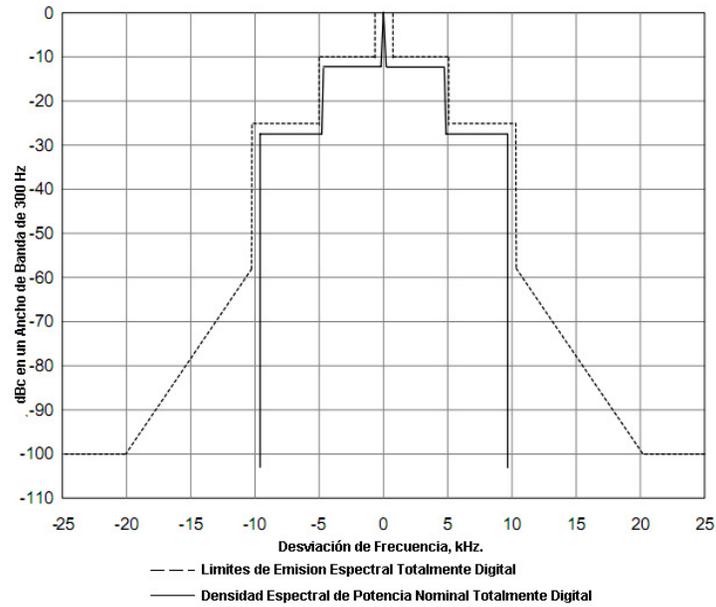


Figura 5.13 Mascara para el espectro IBOC AM totalmente digital

Proceso IBOC FM [8]

La forma de onda IBOC FM, pasa por un proceso similar, con la diferencia de los canales lógicos que esta forma (de los cuales ya se hablo en la descripción anterior) y del último bloque, en donde la forma de onda banda base es transformada a una onda de frecuencia modulada. Se utiliza una codificación con un índice de codificación efectivo de 2/5. La *Figura 5.14* muestra un diagrama de los procesos por los que tienen que pasar los canales lógicos.

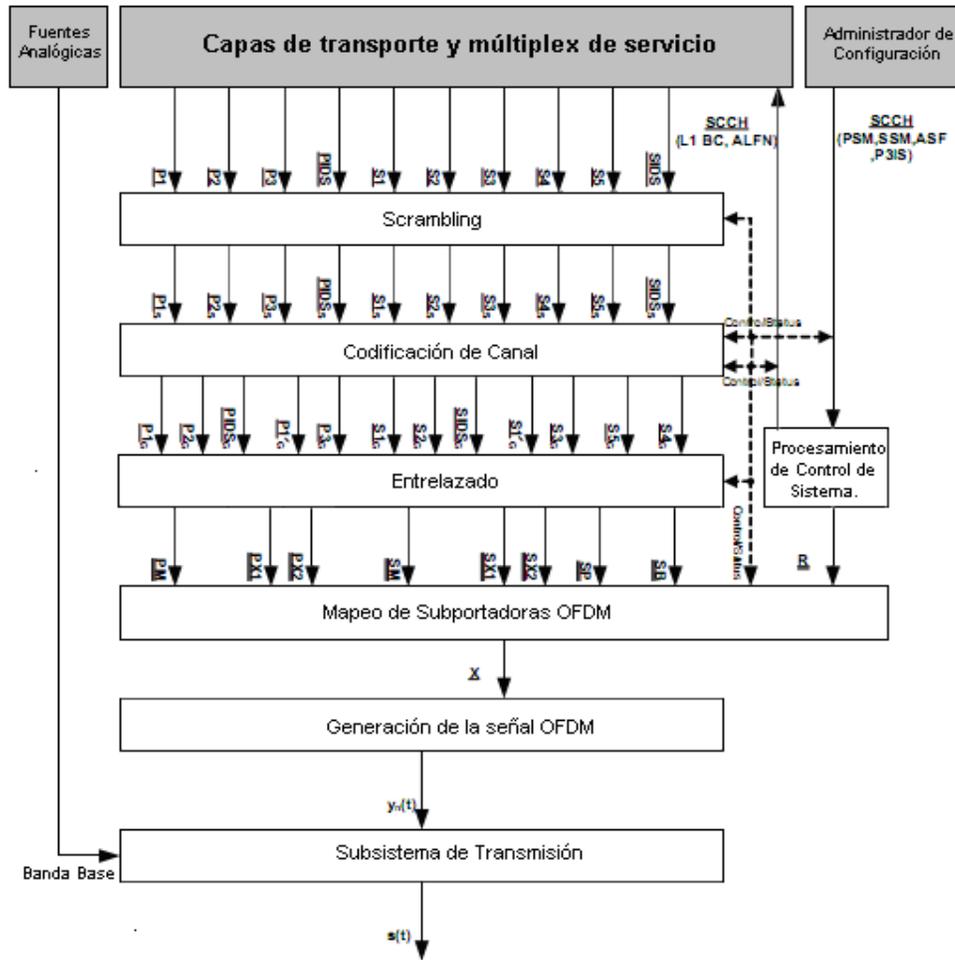


Figura 5.14 Diagrama de Bloques de la Capa Física IBOC FM

La máscara para la transmisión híbrida en IBOC FM [3], queda definida en la Figura 5.16, mientras que la máscara para el modo totalmente digital se presenta en la Figura 5.17.

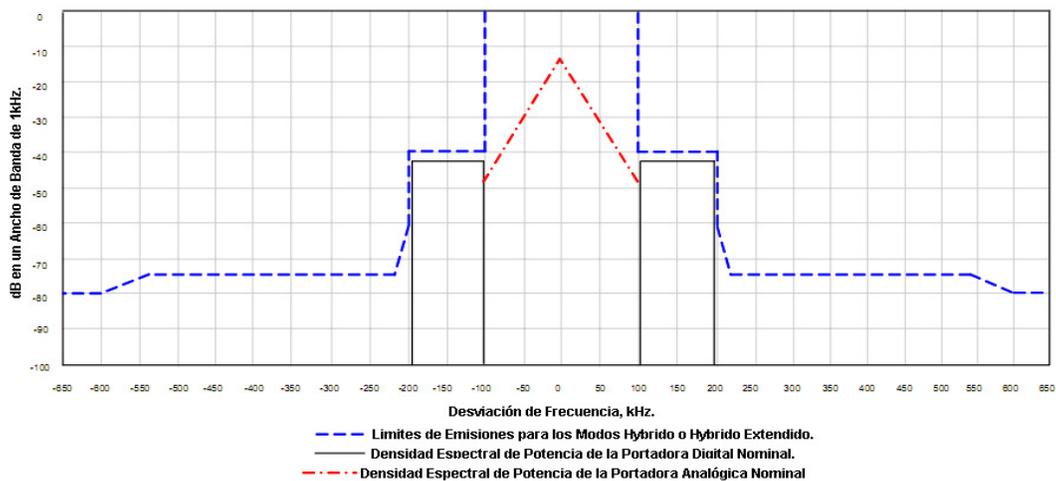


Figura 5.15 Mascara para el espectro de la forma IBOC FM Híbrida

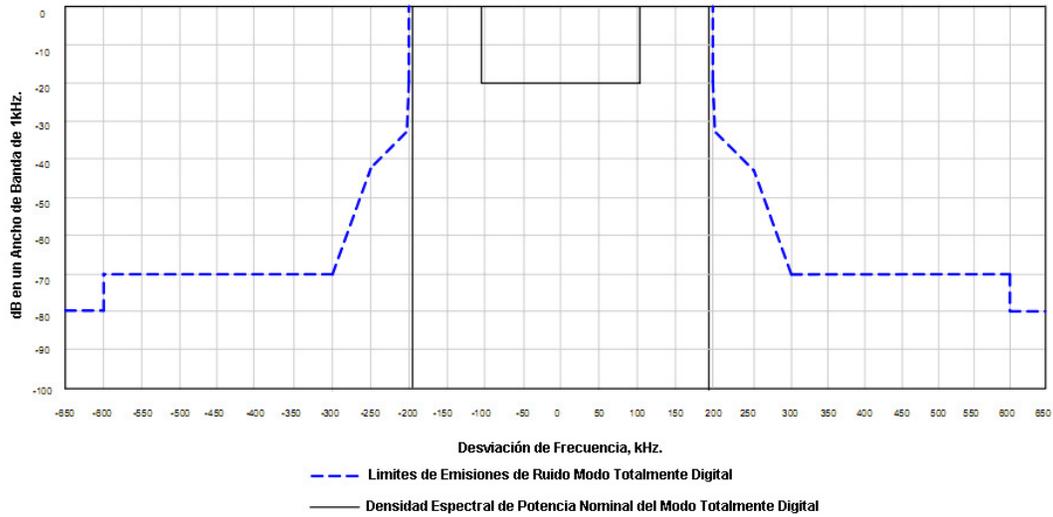


Figura 5.16 Mascara para el espectro de la forma IBOC FM Totalmente Digital

Características con Ruido Gaussiano

La recomendación UIT-BS 1114 presenta pruebas donde se mide el límite superior de las características del sistema IBOC FM y graba un sonido analógico en el límite de audibilidad (ToA, threshold of audibility) digital en presencia de ruido gaussiano y sin interferencia ni desvanecimiento de Rayleigh. Las características se indican en las curvas de BER de la *Figura 5.17*.

Características con desvanecimiento Rayleigh

También, se hicieron pruebas en donde se miden las características del sistema y se graba un sonido analógico en el ToA en presencia de ruido gaussiano y de diversos tipos de desvanecimiento de Rayleigh. Las características se indican en las curvas de BER de la *Figura 5.18*.

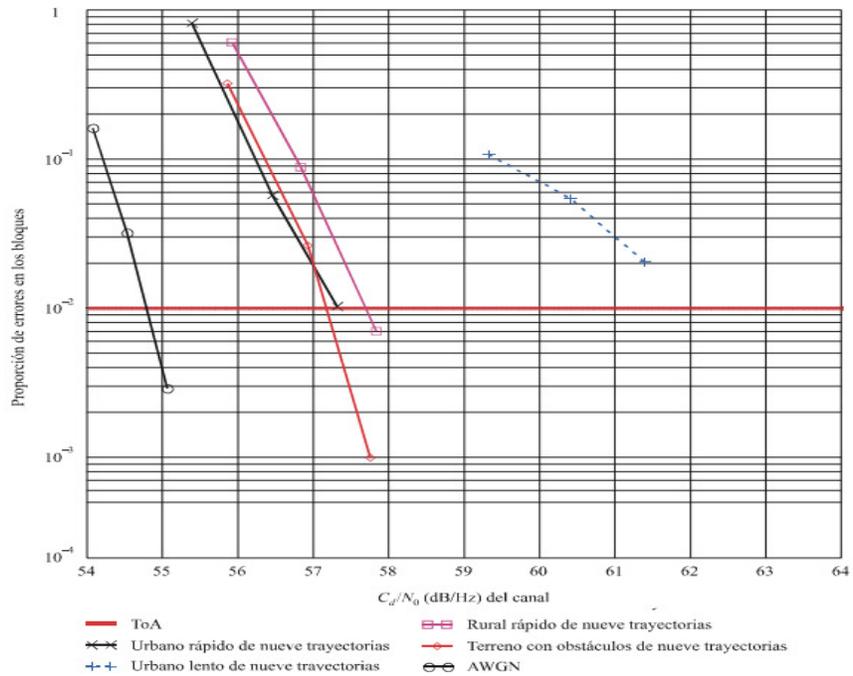


Figura 5.17 Resultados de la BER del sistema IBOC Híbrido en FM ante diferentes tipos de desvanecimiento de nueve trayectorias y ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN)

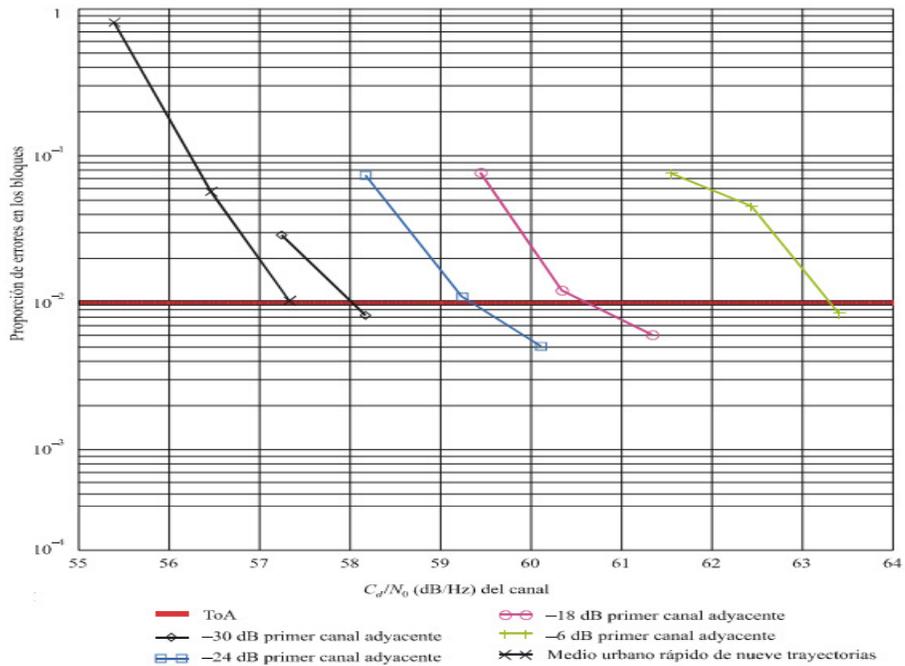


Figura 1.18 Resultados de la BER en los bloques de un sistema IBOC FM Híbrido con desvanecimiento Rayleigh (UF)

5.2 Comparación económica

La presente comparación económica, se realizará teniendo como base, el impacto económico que tendría para las radiodifusoras el cambiar tanto al estándar IBOC como al DAB. También se tomará en cuenta, que tanto se afecta al modelo económico de

radiodifusión actual y que tan “sano” es para el mercado la introducción de una cierta tecnología.

Es importante señalar que un impacto económico recae no solo en las estaciones radiodifusoras, sino también en el gobierno y en los clientes finales, es decir, los radioescuchas. Es por eso que se presentará una comparativa de la diferente gama de receptores existentes, sus precios actuales y sus ventajas.

Por el otro lado, también se debe de tomar en cuenta la facilidad económica para poder adoptar el estándar. Y los conceptos de competencia económica.

La inversión en IBOC

Cualquier estación, que desee migrar al esquema digital mediante la tecnología IBOC, en un principio híbrido, debe tomar en cuenta la inversión inicial. Dicha inversión, para el caso de esta tecnología, engloba prácticamente el costo de los equipos a adquirir y las modificaciones necesarias a los equipos actuales. También se deben de tomar en cuenta los costos anuales de mantenimiento del equipo, alimentación y algo muy importante, la licencia IBOC, debido a que el estándar es propiedad de la empresa Ibiquity Digital Corporation.

Debido a su naturaleza tecnológica, en el estándar IBOC, no es necesario asignar nuevas frecuencias por lo que los costos en pago por obtener una concesión/permiso para explotar la frecuencia de interés, no deben ser tomados en cuenta. Obviamente, aquellas estaciones cuya concesión/permiso esté a punto de vencer o que deseen obtener una concesión/permiso por primera vez deben de tomar en cuenta el costo.

México, cuenta actualmente con 851 estaciones en AM y 643 estaciones en FM, dando un total de 1494 estaciones. De las correspondientes a AM, 759 (89%) son concesionadas mientras que 94 (11%) cuentan solo con permiso. Para FM se tienen 390 (61%) estaciones concesionadas y 253 (39%) permisionadas ^[9]. El costo en que pudiesen incurrir las 1494 estaciones de radio es variable, dado que ello depende de las características técnicas de operación de cada una de las estaciones, dado que no todas las estaciones de radio pueden operar en la misma frecuencia ni con la misma potencia, así como tampoco podrían tener la misma altura de la antena, ni ubicarse en el mismo sitio de transmisión, por ello, según el documento de la referencia [10] se consideró un costo promedio, el cual tomó en cuenta casos típicos de las estaciones de radio en AM y en FM (baja potencia, potencia media y alta potencia) las cuales se clasifican conforme al tamaño de sus área de cobertura, definidas por su frecuencia, potencia, altura de antena y sitio de transmisión.

Tomando en cuenta lo anterior, las estaciones de radio en AM, que mantuvieran una altura de antena promedio sobre el lugar de instalación de 100 metros, se podrían clasificar en baja potencia (hasta 1.0 kW) potencia media (Más de 1.0 kW y hasta 25.0 kW) y alta potencia (Más de 25.0 kW).

Para el caso de las estaciones de radio en FM, que mantuvieran una altura del centro eléctrico de la antena sobre el terreno promedio de 200 metros, se podrían clasificar en baja potencia (hasta 3.0 kW) potencia media (Más de 3.0 kW y hasta 50.0 kW) y alta potencia (Más de 50.0 kW).

De acuerdo con el documento, fueron analizados los requerimientos económicos para llevar a cabo el proceso de transición, conforme a datos proporcionados por la industria y los investigados con proveedores, y se realizaron estimaciones de requerimientos para el proceso, bajo los criterios de aprovechar todas las posibilidades que ofrece la tecnología, contar con condiciones de transmisión que maximicen el servicio y tengan redundancia para fortalecer la confiabilidad de las transmisiones digitales.

Por lo que hace a los costos, conforme a cotización proporcionada por distribuidoras de equipos HARRIS, que es una de las que cuentan con la tecnología IBOC, fueron analizadas las opciones para la adquisición de los equipos para las estaciones de radio en AM y en FM, considerando la potencia de las mismas, de lo que se determinó para las estaciones de radio en AM los siguientes rangos: 90, 114 y 144 (miles de dólares) y para las estaciones de radio en FM de: 127, 258 y 290 (miles de dólares), respectivamente acorde al tipo de estación.

Cabe destacar que la cifra estimada puede reducirse por condiciones de negociación y desarrollo con los proveedores, implementando la tecnología en forma gradual, acotando la flexibilidad de las aplicaciones y, en especial, en los costos asociados a los equipos de potencia media y de baja potencia, los que se espera se vean reducidos, por el volumen que representan.

Inversión en DAB

Es difícil saber con datos precisos, el costo neto de una estación para migrar a la radiodifusión digital mediante el estándar DAB. El impacto principal del mismo en un mercado se refleja en un cambio radical en el esquema económico de las radiodifusoras, de tal manera, que las barreras de entrada que el sistema proporciona por naturaleza propia, y que en el estándar IBOC son simplemente la inversión, son un buen camino para determinar el problema que representa, en un país como el nuestro, la adopción de esta tecnología.

La cadena de transmisión de una señal de DAB es formada por tres tipos de proveedores, estos son el proveedor de servicio, el proveedor del ensamble (que suele ser el mismo proveedor del servicio) y el proveedor de la red de transmisión.

En la parte técnica, se describen los bloques básicos del múltiplex de un ensamble DAB, los componentes de servicio. El rol del proveedor de servicio es el de construir un conjunto de uno o más componentes de servicio, junto con la información de soporte para más adelante enrutarlas hacia el proveedor del ensamble.

El proveedor del ensamble es la parte más importante e innovadora del estándar DAB. Su función es la de administrar la capacidad total de al menos un múltiplex de un ensamble de DAB, en otras palabras, se encarga de crear un conjunto de todas las señales enviadas por los diferentes proveedores de servicio para ser enviadas al proveedor de la red de transmisión quien es el responsable de construir la señal y transmitirla.

La mayoría de las implementaciones de DAB recaen en la proximidad local de los codificadores de Audio, a un lugar en donde se encuentren integrados tanto el multiplexor de servicio como el del ensamble. Las conexiones entre los codificadores de

audio y ellos, son hechas mediante un cierto protocolo de interfaz cuya implementación no es de un costo tan elevado. La sincronización de la señal es simple y puede depender de un generador local “maestro” el cual usualmente es el multiplexor. Este modo de operación no presenta ninguna otra dificultad particular más que la necesidad de que todo el equipo este cerca físicamente.

En Reino Unido, el país donde el estándar DAB ha tenido mayor éxito, el costo de transporte de un múltiplex es de entre 45,000 y 100,000 USD. Para hacer una comparación, en FM el costo de transporte va de 22,500 USD a 40,000 USD ^[14]. Estos costos, toman en cuenta el camino del proveedor de servicio al proveedor de la red de transmisión.

Debido a que el sistema trabaja en la Banda L (1452 MHz – 1492 MHz), los radiodifusores necesitan hacer una inversión en equipo. Esto es solamente para el caso del proveedor de servicio quien en dado caso que no esté en el mismo lugar físico que el proveedor del ensamble tendrá que invertir en antenas que transmitan la información de un lado a otro. El proveedor del ensamble, por su naturaleza, puede ser una compañía privada que simplemente otorgue dicho servicio, o puede ser un proveedor de servicio con suficiente capacidad como para administrar su propia cadena de distribución. Este parámetro depende de la estrategia que deseen llevar a cabo cada uno de los grupos radiodifusores.

La diferencia de bandas de trabajo, trae consigo otro costo importante; el de la asignación de una porción de espectro en dicha banda. De acuerdo con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias, dicha banda se encuentra asignada para la radiodifusión digital, por lo que en lo que a la existencia de espacio respecta, no debe haber mayor problema pero si es de esperarse que de adoptarse el estándar, el gobierno abra una licitación de frecuencias en la Banda L, lo que implica un gasto para los radiodifusores pues deben de pagar una determinada cantidad (que en general representa una inversión importante) en refrendo por la frecuencia que utilizarán.

Debido a que una parte importante para la recepción de la señal digital es el receptor, a continuación se proporciona una lista del costo de los receptores a nivel mundial.

Costo de los receptores IBOC ^{[11][12]}

Existe una gran variedad de receptores IBOC y el precio varía en cuanto a su uso. Existen receptores fijos (para su uso en el hogar o en la oficina o en sistemas de alta fidelidad) y receptores portátiles (para su uso en el automóvil o como radio portátil). Los receptores fijos van desde 90 USD hasta 500 USD, el aumento en el precio va de la mano con el aumento de funciones del receptor, calidad de audio, tamaño y aplicación. Estos son algunos de los receptores que actualmente se encuentran en el mercado:

	<p>Modelo: iLuv i168 Costo: 89.90 USD Bandas: Recibe AM/FM analógico y digital. Aditamentos: Alarma y reloj digital.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: Radiosophy HD 100 • Costo: 99.95 USD • Bandas: Recibe AM/FM analógico y digital. • Aditamentos: Alarma y reloj digital.
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: Jensen JiMS-525i • Costo: 149.99 USD • Bandas: Recibe AM/FM analógico y digital. • Aditamentos: Alarma y reloj digital, base para iPod y soporte para iTunes Tagging, control remoto, soporte de reproducción de música en formato MP3.
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: Insignia NS-HD3113 • Costo: 199.99 USD • Bandas: Recibe AM/FM analógico y digital. • Aditamentos: Puerto para ipod, soporte para CD/DVD/VCD, archivos MP3, WMA e imágenes JPEG, iTunes “tagging”, alarma y reloj digital.
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: Polk Audio I-Sonic ES2 • Costo: 499 USD • Bandas: Recibe AM/FM analógico y digital. • Aditamentos: Alarma y reloj digital, sistema avanzado acústico, puerto para iPod, salidas para video y audio.

La gama de receptores portátiles es también muy variada. Los equipos pueden adquirirse de forma propia o, en el caso de equipos para automóviles, compañías como Ford, BMW, Audi, Jaguar, Kia, Land Rover, Lincoln, Mercedes-Benz y Volvo, ya incluyen receptores digitales dentro de su oferta de automóviles. El precio para este tipo de receptores va desde 120.00 USD a 249 USD. Estos son algunos modelos que se encuentran en el mercado actualmente:

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: Insignia NS-C5112 • Costo: 120 USD • Bandas: Recibe AM/FM analógico y digital. • Aditamentos: Reproducción de CD, archivos en formato MP3 y WMA, adaptador para iPod.
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: JVC KD-HDR20 • Costo: 139.95 USD • Bandas: Recibe AM/FM analógico y digital. • Aditamentos: Reproducción de CD, archivos en formato MP3 y WMA, ecualizador de 7 bandas, bluetooth, adaptador para iPod.
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: Kenwood PKG-MP242HD • Costo: 199.95 USD • Bandas: Recibe AM/FM analógico y digital. • Aditamentos: Alta calidad de sonido, compatible con CD, música en formato WMA y MP3, conexión para iPod, Bluetooth, Radio Satélital.
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: Visteón HD Jump • Costo: 249 USD • Bandas: Recibe AM/FM analógico y digital. • Aditamentos: Receptor totalmete portátil (auto o casa), soporta todas las características de la radio digital.

Costo de los receptores DAB ^{[12][13]}

Existe una gama muy variada de aproximadamente 810 receptores DAB en el mundo. Se pueden encontrar dispositivos portátiles (automóvil y “hand-held”) y fijos (para el hogar o la oficina). Los precios comienzan desde los 25 USD.

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: Alba TRDAB2810 DAB Desktop Radio. • Costo: 30 USD. • Banda: DAB/FM. • Aditamentos: Ninguno
---	---

	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: Pure One Classic DAB/FM Radio • Costo: 88 USD. • Banda: DAB/FM. • Aditamentos: Puerto para adaptación de reproductores externos, reloj.
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: Pure Chronos CD DAB/FM/CD/MP3 Stereo Clock Radio • Costo: 136 USD • Bandas: DAB/FM • Aditamentos: Reproducción de CD, alarma, archivos MP3/WMA.
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: Sony CMT-HX90BTR • Costo: 293 USD • Bandas: DAB • Aditamentos: Soporte para archivos MP3/WMA, AAC. Reproducción de CD con opción de grabar a una USB, posibilidad de conexión almacenada en dispositivos digitales.
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: Magicbox Touch-Handheld DAB Radio • Costo: 73 USD • Bandas: DAB • Aditamentos: Ninguno
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: i-nique Executive Soft Napa DAB Radio. • Costo: 25 USD. • Bandas: DAB • Aditamentos: Ninguno
	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: Nashville DAB 35 • Costo: 440 USD • Bandas: FM/DAB • Aditamentos: Reproducción de CD, soporte para archivos MP3, Ecualizador, interface para iPod
	<p>Modelo: Delphi Grundig – Allixx SCD-5410 DAB Costo: 394 USD Bandas: DAB (Banda III/Banda L), FM. Onda Media, Onda Baja. Aditamentos: Reproductor de CD, MP3, Ecualizador.</p>

Aunque tanto el sistema DAB como el sistema IBOC satisfacen las necesidades para la radio digital, es importante hacer también una comparación en la cual se pueda ver reflejado el costo – beneficio de cada una de las tecnologías. Dentro de este estudio es necesario tomar en cuenta tanto a los radiodifusores como a los radioescuchas, pues en las dos partes, es necesario hacer una inversión para poder contar con la tecnología necesaria para poder transmitir la señal digitalmente y que esta pueda ser recibida.

Dentro de los dos sistemas, es necesario hacer cambios en el modo en el que se trata a la señal, lo que significa invertir en equipo más sofisticado, aunque por la naturaleza de la tecnología, es posible que en alguna de las fases de los dos sistemas, no se tenga que realizar ningún cambio, que puede verse como una ventaja o una desventaja, esto se tratará mas adelante cuando se emita una recomendación económica. En determinados casos, se harán referencias de precios, pero estos serán en general, pues la presente comparación económica tiene el objetivo de mostrar los cambios necesarios a realizar por las radiodifusoras y, basado en eso, hacer conclusiones de que es lo que podría llevar a una mejor inversión, aunque esta, derive en un mayor gasto.

CAPÍTULO 6. RECOMENDACIONES PARA LA ADOPCIÓN

La adopción de un estándar apropiado para un país, depende de diferentes factores. Estos factores, se pueden resumir en económicos, políticos y sociales. En el presente capítulo de presentarán ejemplos de adopción de la radio digital en diferentes países así como la distribución geográfica de los diferentes estándares, las expectativas del servicio y las limitaciones presentes dentro del sistema. Por el otro lado, se otorgarán una serie de recomendaciones tanto técnicas como económicas de los dos estándares basándose en lo visto en las comparaciones del capítulo anterior. Para así finalizar con los resultados globales de la comparación. Cabe mencionar, que de aquí en adelante, se comenzará a regionalizar la información. Es decir, se presentarán diferentes premisas orientadas a la adopción de un sistema de radiodifusión digital para México.

6.1 Recomendación técnica

Existen ciertos parámetros que se deben de tomar en cuenta, antes de aceptar un nuevo sistema como estándar para la radiodifusión digital de un país. Los puntos más importantes que se recomiendan a tomar en cuenta son los siguientes ^[1]:

- Que los sistemas digitales IBOC y DAB se puedan utilizar para los servicios de radiodifusión sonora digital terrenal destinados a receptores en vehículos, portátiles y fijos.
- Que el sistema digital a utilizar, para el caso de México, se pueda utilizar en las bandas existentes de Amplitud Modulada y Frecuencia Modulada.
- Gran calidad de sonido estereofónico mediante dos o más canales, de calidad subjetiva indistinguible de la de los medios de grabación digital de consumo de alta calidad (disco compacto), para cualquier tipo de receptor.
- Una mayor eficiencia en lo que respecta a la utilización del espectro y a la potencia, que los sistemas analógicos actuales.
- Una calidad de funcionamiento considerablemente mejorada en condiciones de propagación multi-trayecto o de sombra.
- Posibilidad de configurar y reconfigurar el sistema para poder transmitir programas radiofónicos a velocidades binarias más bajas a expensas de la calidad y el número de programas radiofónicos disponibles.
- Una solución de compromiso entre el grado de cobertura con una potencia de emisión determinada, la calidad de servicio y el número de programas radiofónicos y de servicios de transmisión de datos.
- Facilidades perfeccionadas para los datos relacionados con los programas (porejemplo, la identificación del servicio, etiquetado de programa, control de distribución de programas, control de los derechos de propiedad intelectual, acceso condicional, enlace dinámico de programas, etc).
- Asignación flexible de servicios dentro de un múltiplex.

- Posibilidad de ofrecer servicios de valor añadido con capacidades de dato diferentes (canales de mensaje de tráfico, datos del sector comercial, radiobúsqueda, imágenes fijas, gráficos, multiplexión de video/audio a baja velocidad binaria, etc).

6.1.1 Experiencias de Radio Digital en diversos países ^[2]

Es común observar a otras experiencias de implementación de nuevas tecnologías en otras regiones, como indicadores de lo que podría suceder en nuestro mercado en circunstancias similares.

Esto no siempre es un camino certero y que pueda proporcionar información fiable. Dichos modelos no siempre presentan un panorama tan acertado. Se pueden enumerar varios ejemplos en los que el comportamiento de los consumidores de una región determinada no se repite en otros lugares, bajo circunstancias básicas similares, como es el caso del éxito en Reino Unido de DAB, y su difícil implementación en Francia.

Algunas de las causas de este comportamiento son los precedentes históricos, las diferencias contextuales y sociales, las preferencias económicas cambiantes y las prioridades divergentes. Cualquiera de estas opciones puede derribar los parámetros nativos de un producto de los nuevos medios y presentar un resultado localizado que puede ser muy diferente de la percepción que tuvo la misma tecnología en cualquier otro lugar. Entonces, si bien la experiencia de una región puede servir a otras regiones, raramente se pueden encontrar factores universales de predicción confiables sobre el comportamiento social, que posibiliten a las compañías elaborar sus estrategias futuras en materia de medios de comunicación, teniendo especial cuidado en el valor real de la información que se está recabando.

Por ejemplo, en Estados Unidos el 40% del total de audición de radio se produce en los vehículos, y esto representa más del doble de lo que ocurre habitualmente en Europa, datos que ponen en duda cuán relevantes pueden ser el tan citado éxito de la DAB en el Reino Unido, o de IBOC en los Estados Unidos, para tecnologías similares en otras regiones, y en particular en el mercado mexicano ^[3].

Por su parte, los organismos reguladores ven con agrado la adopción de técnicas digitales, con vistas a un uso más eficiente del espectro y al otorgamiento de nuevas licencias. Los radiodifusores del sector privado, en cambio, fueron más escépticos con respecto a las ventajas de la digitalización, al no tener beneficios claros a la vista. Incapaces o no dispuestos a distraer su atención de las necesidades financieras de corto plazo, se resistieron la adopción de la nueva tecnología.

La adopción de IBOC por parte de los Estados Unidos, viene signada por la fuerte competencia de la radio satelital, que se ha visto enormemente favorecida en ese mercado. Sin embargo, las particularidades de este mercado no se repetirán en otros lugares del mundo con tanta facilidad: una gran masa terrestre en latitud relativamente baja, con tan solo inglés y español como lenguas de uso masivo y el mayor número de automóviles del mundo, en relación con el tamaño de su población, de manera que la audiencia de radio móvil es equivalente a la recepción fija en hogares y oficinas. La radio abierta

estadounidense trata de defenderse como puede de la fuerte penetración de la radio satelital de paga, que ya tiene más de 8 millones de abonados, y encuentra en HD Radio una alternativa de salvación ^[3].

Actualmente existen solamente dos países que han adoptado IBOC por completo, que son Estados Unidos y Puerto Rico. En Estados Unidos, existen 258 estaciones en AM que transmiten en digital de las cuales 87 lo hacen todo el tiempo, esto debido a que las 175 restantes solo transmiten en digital de día. Para el caso de FM, existe un aproximado de 1400 estaciones de las cuales solamente el 16% (225) transmite día y noche. Cabe mencionar que algunas estaciones, no tienen permiso por parte del gobierno para transmitir digitalmente en la noche debido a las interferencias que ocasionan ^[4].

Por el otro lado, la exitosa experiencia en el Reino Unido se produjo en gran parte, gracias a la disponibilidad de contenidos en DAB originales. Hay que tener presente que en el mercado radial del Reino Unido existen menos estaciones de radio, menos diversidad de propietarios, menor audiencia de radio en vehículos y no tienen competencia de la radio satelital móvil. La DAB también se vio beneficiada por promociones cruzadas a través de los medios, algo que sería difícil de lograr en otros mercados. La tasa de adopción de radio digital en Europa, se encuentra principalmente promovida por las difusoras de servicio público, que adoptaron la tecnología y vieron el potencial de las posibilidades ofrecidas por plataformas digitales, y como contrapartida las limitaciones de la tecnología analógica. Con ingresos alternativos (gravámenes de licencias, subvenciones del gobierno, etc.) y una tradición de experimentación de nuevas tecnologías, así como un deseo de participación en el mercado con servicio exclusivo, muchas difusoras públicas lanzaron nuevos canales digitales.

Entrando a detalle en la experiencia de Reino Unido, dicho país, en 1999, fue el primero en tener un múltiplex DAB para dar servicio y actualmente cuenta con una cobertura del 85% del país. Recientemente (Mayo de 2008) se anunciaron las últimas cifras de ventas de dispositivos que fueron de 7 millones. La industria de la radio, en conjunto con los fabricantes, minoristas, legisladores, la industria automotriz y los fabricantes de chips, trabaja con el gobierno para identificar y sobreponerse a las barreras para tener un mayor crecimiento del mercado DAB en el Reino Unido ^[2].

Reino Unido cuenta con 3 plataformas nacionales operadas por las compañías BBC, Digital One, y 4 Digital Group y 6 regionales de las cuales una esta operada por Switch Digital Scotland y 5 por MXR Ltd ^[5].

En Febrero de 2008, el radiodifusor comercial mas grande de Reino Unido, GCap media optó por cerrar dos estaciones digitales, además de afirmar que ve mejores prospectos en FM y radio de banda ancha que en la radio digital, que es muy cara. Es así como se encuentra un ambiente de pesimismo debido a que la expectativa de cambiar a digital en 2015 esta muy lejana de la realidad.

Y es que otra gran presión existente por parte de los gobiernos es el del fenómeno conocido como “apagón analógico”, que significa la entrada de transmisiones completamente digitales tanto para radio como para televisión. Para la mayoría, el apagón analógico es ya

visible, y algunos países (la mayoría de la Unión Europea, como Alemania y España), se han fijado fechas para completar la transición a digital e inclusive, países como Luxemburgo, Suecia, Suiza, Andorra y Finlandia ya lo han completado. La principal barrera para dicha transición es el mercado, pues no se espera que toda la gente pueda contar con un aparato apto para la recepción de un día para otro, y aunque los fabricantes de dispositivos tienen una gran variedad de productos en el mercado, estos no han tenido el éxito que ellos esperaban, retrasando así los planes digitales.

A continuación, se presentan casos mas aislados de las experiencias de la radio digital [2].

Australia

En Australia, el 10 de mayo de 2007 se aprobó la legislación que permite a los radiodifusores el proporcionar servicios de radio digital. Dicho gobierno planea implementar la tecnología utilizando directamente el estándar DAB+, cuyas transmisiones se pretenden comenzar entre Enero y Julio de este año (2009) en la Banda III VHF. Actualmente se encuentran 4 multiplexajes regionales de prueba en transmisión los cuales se espera que permanezcan hasta el día oficial de transición a digital.

Actualmente el país no cuenta con regulación en materia de requerimientos de cobertura, además, no hay costo de espectro para los radiodifusores comerciales y no esta permitida la entrada a nuevos radiodifusores en un periodo de 6 años apartir de la fecha de inicio de transmisión. La mínima velocidad de transmisión es de 128 kbps (1/9 múltiplex) y el máximo es de 256 kbps (1/5 multiplex).

Bélgica

En Bélgica se tiene solo un múltiplex en operación con nueve programas de audio (cinco simulcast y solo cuatro DAB). Además, se tiene un múltiplex en operación con seis programas de audio (todos simulcast). Se tiene una cobertura del 100 % y se planea lanzar un nuevo múltiplex. La regulación difiere de la comunidad en cuestión. Solo se conceden licencias a los proveedores de programas en la comunidad francesa. Para el caso de la comunidad flamenca, las licencias se otorgan al operador del múltiplex y pueden contener restricciones. El “simulcasting” (radiodifusión simultanea) se permite tanto en la comunidad francesa como en la flamenca y no existen regulación específica sobre este servicio.

China

En China, el regulador SARFT, escogió DAB como estándar industrial en Mayo de 2006. Actualmente, DAB está al aire en 11 ciudades del país. El DAB fue utilizado satisfactoriamente para realizar las transmisiones de los juegos olímpicos en el país. En Beijing, existen 20 servicios de radio de los cuales 16 son simulcast, en la ciudad de Dalian, la televisora de cable Tiantu tiene una concesión con la cual planea lanzar 4 servicios de radio. A la fecha, se han vendido alrededor de 80 000 dispositivos (combinando DAB y DMB) solamente en Beijing.

Dinamarca

En Dinamarca se han vendido un millón de receptores y se cuenta con una cobertura del 90% del país. Además, se tiene solamente un múltiplex Regular Nacional al aire y se cuenta con 14 servicios DAB públicos y 3 comerciales al aire. En cuanto a regulación, ésta se reparte en 3 organismos diferentes; El Ministerio de Cultura legisla la parte de contenido, el Ministerio de Ciencia establece el marco para las aplicaciones de cada una de las frecuencias y la Agencia nacional de TI y Telecomunicaciones mantiene el manejo técnico del espectro de frecuencias.

Alemania

La cobertura del servicio de DAB en Alemania es del 82 %, proporcionada por 15 multiplexajes regionales y 8 locales al aire. Dentro de estos multiplexajes se tienen mas de 120 estaciones de radio (tanto públicas como comerciales) y alrededor de 80 tipos de estaciones. Aunque la mayoría de las estaciones son simulcasts de otras en FM, el número de canales transmitidos solo en DAB ha ido en aumento. A la fecha, se han vendido alrededor de 546, 000 receptores en el país. La regulación está dividida en federal y estatal. El gobierno federal emite las licencias de telecomunicaciones a los operadores de red y regula todo lo relacionado con espectro y frecuencia. Los proveedores de contenido son regulados por los estados, cada uno de los cuales tiene su propio marco regulatorio. En conclusión, el gobierno federal asigna frecuencias, pero la distribución de contenido es otorgada por las autoridades estatales. La concesión de frecuencia se les otorga por 15 años y las licencias de explotación estatales se otorgan por cuatro y ocho años. Es un requerimiento que dentro de los tres primeros años de la concesión exista una cobertura del 80% de la población. No existen reglas definidas sobre el tema de la capacidad de datos, pero el uso de hasta el 20% del múltiplex es normal. Existe también una meta para el apagón analógico establecida para entre el año 2010 y el año 2015.

Noruega

En este país existe un múltiplex regular (existen otros tres de prueba, un nacional y dos regionales). Además se logra una cobertura del 80% del país (tomando en cuenta servicios de prueba). Se han vendido alrededor de 191,000 receptores DAB.

Singapur

Singapur, cuenta con 3 multiplexajes nacionales al aire, 14 de los servicios proporcionados son públicos y siete son servicios otorgados a suscriptores. Hasta la fecha no se tienen cifras exactas del número de receptores vendidos, pero hasta verano de 2007, se tenía una cifra de 25,000 receptores. El marco regulatorio define tres tipos de licencias para ser otorgadas; Existe la Licencia Múltiplex DAB, con un periodo de ocho años, donde los operadores deben de transmitir al menos cinco servicios de audio. La segunda categoría es la Licencia de Servicio para Radiodifusor DAB, con un tiempo de cinco años, para proveedores de servicio, la cual toma en cuenta programación y anuncios. Por último se tiene la Licencia de Clase, la cual cubre el rango de datos y multimedia soportado por DAB, para esta licencia no se tiene tiempo definido alguno.

España

España es uno de los casos en donde aun cuando se cuenta con tres multiplexajes nacionales solo se tiene una cobertura de alrededor del 52%, debido al temor de los grupos radiodifusores de optar por una tecnología que es percibida como una amenaza para los mercados. Además, existe un número pequeño de distribuidores que venden dispositivos DAB. Las licencias para estaciones nacionales son otorgadas por el gobierno central, mientras que las licencias regionales y locales son responsabilidad del gobierno regional, éstas son válidas por 10 años con una renovación automática de otros diez años. La publicidad es regulada bajo las mismas reglas que la radio análoga, y los datos son permitidos hasta un 20% de la capacidad del múltiplex.

Suiza

La cobertura de DAB en Suiza es de un 90% otorgada por 19 compañías dispersas en cuatro multiplexajes. El número de receptores vendidos a mediados de 2008 fue de 120,000. Para este año (2009), se planea lanzar el servicio de DAB+ para la región alemana.

Los sitios de transmisión son operados por Swisscom Broadcast, pero el radiodifusor público SRG es el responsable de la planeación de la red, generación de la señal y multiplexaje.

Canadá

Este país cuenta con estaciones en Toronto, Montreal y Vancouver. Ya que se está realizando un estudio de disponibilidad en la banda L, aún no se han licitado nuevas frecuencias resultando esto en una cobertura del 35% de la población.

6.1.2 Expectativas del servicio

Dado que ya existe una tecnología que da el servicio de radiodifusión (AM y FM), se espera que el servicio otorgado por los radiodifusores sea de mayor calidad que sus antecesores, lo que se refleja en una mejor calidad en el sonido, y una mejor recepción, que corrija las pérdidas de señal presentadas por los sistemas anteriores.

El servicio de radiodifusión digital, tiene que cubrir las necesidades personales del radioescucha, independientemente del estándar que se esté utilizando, lo que se traduce en que cualquiera de los servicios de valor agregado para los que está capacitado el receptor de proporcionar, puedan ser utilizados por el cliente y que estos le sean útiles en verdad e.g. si un usuario necesita la información del estado del tiempo o la cotización de la bolsa, se tiene que garantizar el servicio, de otra manera, no se estarían otorgando los servicios de valor agregado que supuestamente hacen la diferencia de los anteriores. Y es que las experiencias anteriores de los clientes, tienen que ser sobrepasadas, pues el consumidor tiene la idea de

que un producto que es mejor que el actual, debe de otorgar un mejor servicio o de alguna manera, hacer la diferencia.

Los radiodifusores también tienen expectativas sobre el servicio, pues ellos esperan que con un cambio de tal índole y con una inversión tan grande, puedan obtener mayores ganancias, proporcionar mejor y más contenido dentro de las transmisiones, lo que se refleja también en introducir mayor publicidad en ella ya que, como se explico anteriormente, el modelo económico de los radiodifusores comerciales obtiene sus ganancias por parte de la publicidad. Es aquí donde el estándar utilizado debe de proveer las herramientas necesarias para que estos anuncios sean claros para el cliente, con el fin de lograr una mayor penetración en el mercado y que esta sea mucho más rápida que la de la radio tradicional.

Para los productores, obviamente la expectativa es la de generar un número de ventas de dispositivos receptores, que vaya en crecimiento anualmente, esto es independientemente del costo del receptor pues dentro de los dos estándares el costo de fabricar un receptor en masa es viable.

Para las naciones, la expectativa es que el servicio otorgue, en principio, una transición adecuada de conversión analógico a digital y que se base en un esquema de regulación el cual no cause problemas y que no genere un impacto económico muy grande sobre el mercado. Además, se espera la utilización un servicio que además de que cumpla con todo lo dicho anteriormente, pueda proporcionar eficiencia en el espectro existente actual y no tener que realizar ningún nuevo esquema de licitación de frecuencias, que aunque ayuda al gobierno no ayuda en gran manera al mercado ya establecido.

6.1.3 Legislación en México

La legislación en México, en materia de telecomunicaciones, es vigilada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) mediante la Dirección General de Política de Telecomunicaciones. Su principal atribución es la de formular y proponer políticas y programas para el establecimiento, uso, aprovechamiento y desarrollo de los servicios de telecomunicaciones y dar su apoyo para fijar, conducir y controlar las decisiones en materia de radiodifusión. Además, analiza lo relacionado a concesiones y licitaciones con el visto bueno de la Comisión Federal de Telecomunicaciones. El documento principal que sirve como base de acción dentro del campo es la Ley Federal de Telecomunicaciones en conjunto con la Ley Federal de la Radio y la Televisión. De dichos documentos se derivan otros como el Reglamento Interno de la SCT y el Reglamento de la Ley Federal de la Radio y la Televisión. Por el otro lado, y de no menor importancia, se encuentra la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL), el órgano administrativo desconcentrado de la SCT, con autonomía técnica, operativa, de gasto y de gestión, encargado de regular, promover y supervisar el desarrollo eficiente y la cobertura social amplia de las telecomunicaciones y la radiodifusión en México ^[6].

El Artículo 13 de la Ley Federal de Telecomunicaciones menciona que el servicio de radiodifusión, se atiene a la Ley Federal de Radio y Televisión. Esta última, en su Artículo primero menciona que corresponde a la nación el dominio directo de su espacio territorial y, en consecuencia, el medio en el que se propagan las ondas electromagnéticas, es decir, el

Espectro Radioeléctrico. La forma en que se utiliza dicho espectro en México para proporcionar gran variedad de servicios es definido por el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias. El cuadro, aunque es nacional, también presenta un esquema internacional, es decir, refleja la atribución mundial, tal como lo señala el Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), con el fin de indicar banda por banda la compatibilidad de servicios nacionales de radiocomunicaciones de nuestro país en el marco internacional.

Por el otro lado, las especificaciones y requerimientos para la instalación y operación de estaciones de radiodifusión sonora moduladas tanto en amplitud como en frecuencia, tienen que apegarse a las Normas Oficiales NOM-01-SCT1-93 y NOM-02-SCT1-93, respectivamente. Esto basado en lo descrito en la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización en su sección segunda, referente a las normas oficiales.

Como dato adicional, el Artículo 14 de la Ley Federal de Telecomunicaciones establece que las concesiones sobre bandas de frecuencias del espectro para usos determinados se otorgarán mediante licitación pública, que acorde con el Artículo 16 de la misma ley, tiene que tener una opinión favorable de la Comisión Federal de Competencia, dicho ente, es determinante para muchas de las decisiones relacionadas con algún grado de impacto en el mercado de las telecomunicaciones y, en general, para otros mercados que no competen a este trabajo. El objetivo es promover la aplicación de criterios homogéneos de competencia económica en las políticas públicas y de regulación de actividad económica para evitar barreras legislativas o administrativas al proceso de competencia y libre concurrencia.

En materia de Radiodifusión Digital Terrestre (RDT), México aún no cuenta con un documento que avale completamente la adopción de un determinado estándar para realizar la transición. Pero si cuenta con una serie de publicaciones referentes a la transición y adopción de un sistema.

En un principio, por orden de publicación, se tiene el documento titulado “Acuerdo mediante el cual se establecen obligaciones para los concesionarios y permisionarios de radio y televisión relacionadas con las tecnologías digitales para la radiodifusión”. El objetivo del mismo fue establecer un marco regulatorio introductorio que da pie a la SCT para realizar estudios y tomar una decisión en cuanto al estándar más apropiado para la radiodifusión en México. Las estaciones de radio tendrán que atenerse a la decisión tomada y utilizar dicho estándar como tecnología de radiodifusión digital y apegarse a las reglas establecidas que dicho cambio conlleva.

En segundo lugar, se cuenta con un anteproyecto de lineamientos para la transición a la RDT publicado en febrero de 2008, titulado “*Lineamientos para la transición a la radio digital terrestre (RDT), de las estaciones de radiodifusión sonora ubicadas dentro de la zona de 320 kilómetros de la frontera norte de México*”, que tiene como propósito definir una serie de lineamientos que permiten, en una primera etapa, que concesionarios y permisionarios cuyas estaciones de radiodifusión sonora se encuentran ubicadas en la zona de 320 kilómetros dentro de la frontera norte de México, puedan llevar a cabo, en forma voluntaria, transmisiones con el sistema IBOC, con la finalidad de que la prestación de sus servicios se encuentre en igualdad de condiciones tecnológicas a las que actualmente tienen

las estaciones de radiodifusión estadounidenses, las cuales operan bajo la misma tecnología. Es decir, se define el uso del estándar IBOC para dicha zona, más no para todo el territorio nacional.

El anteproyecto cuenta con una respuesta por parte de la Comisión Federal de Mejora Regulatoria titulado *“Ampliaciones y Correcciones a la Manifestación de Impacto Regulatorio del Anteproyecto Regulatorio Acuerdo de Política de Transición a la Radio Digital Terrestre (RDT), de estaciones de radiodifusión sonora ubicadas dentro de la zona de coordinación de la frontera norte de México”*. Dicho documento presenta una serie de requerimientos realizados por la COFEMER con el fin de realizar correcciones al anteproyecto.

Por último, presentando un gran avance regulatorio de introducción, pero un retroceso en cuanto a que tecnología se debería de adoptar, se publicó otro acuerdo en septiembre de 2008, titulado *“Acuerdo por el que se establecen los requisitos para llevar a cabo el cambio de frecuencias autorizadas para prestar el servicio de radio y que operan en la banda de Amplitud Modulada, a fin de optimizar el uso, aprovechamiento y explotación de un bien del dominio público en transición a la radio digital”*, que establece que los concesionarios y permisionarios de radio que operan en la banda de AM, podrán solicitar el cambio de frecuencia para operar en la banda de FM. Esto con el fin de que la industria de la radio AM cuente con condiciones que le permitan elevar su competitividad, a fin de llevar a cabo las inversiones que trae consigo la introducción de la tecnología para la radio digital. Como se puede ver, no se define un estándar específico para la RDT.

La base para realizar dicho cambio de frecuencias se menciona en el Artículo 23 fracción III de la LFT que establece que el gobierno podrá cambiar o rescatar una frecuencia para la introducción de nuevas tecnologías y que para estos efectos, se podrá otorgar directamente al concesionario nuevas bandas de frecuencias mediante las cuales se puedan ofrecer los servicios originalmente prestados.

Así, se puede visualizar como la legislación mexicana cuenta con una base sólida, construida desde el año de 1999, que pretende llevar una transición analógico – digital “sana”. El principal problema, es que desde el año 2000 (nueve años a la fecha), el gobierno no se ha decidido por un estándar que mejor se acomode a las necesidades del país, debido a presiones tanto políticas como de los propios radiodifusores que nacen de la serie de intereses en la industria y de los cambios permanentes que trae consigo la migración, pues aun cuando se tiene una base, es necesario establecer nuevas reglas de operación para los interesados sea DAB o IBOC el estándar de adopción.

6.1.4 Limitaciones

Sin duda alguna, la Radiodifusión Digital trae consigo numerosas ventajas sobre sus antecesoras analógicas, a pesar de esto, dichos sistemas no están exentos de las limitaciones que traen consigo las nuevas tecnologías, por lo que es necesario advertir a los radiodifusores que, como toda tecnología que no está aun madura, también posee debilidades importantes que deben de ser tomadas en cuenta.

- Desafortunadamente, existen estrictas limitantes sobre la potencia de transmisión a la cual los radiodifusores pueden transmitir. Dicha limitación es necesaria debido pues de otra forma, la señal causaría demasiada interferencia en bandas de frecuencia adyacentes, limitante para la BER, cuya tasa disminuye al aumentar la potencia ^[16].
- Los radios digitales aún son mucho más costosos que los analógicos, a pesar de que año con año el precio va en descenso.
- Los radios digitales tienden a consumir mas energía que los analógicos.
- Si las estaciones comprimen la información demasiado, la calidad del audio se ve afectada en gran manera.
- Aunque se pueden transmitir varios datos, existe un límite, por lo que se recomienda solamente transmitir los datos importantes o en todo caso los más redituables.
- El sistema de compresión y codificación aplica un retardo importante, de varios segundos, típicamente entre 6 y 8 segundos, sobre la programación. Esto puede convertirse en un verdadero problema en algunas emisoras, especialmente cuando se emiten programaciones deportivas. Hay que destacar que la señal analógica, durante la etapa híbrida, debe aplicar el mismo delay que la digital, ya que es backup de ésta cuando la señal de recepción sea débil, por lo que el delay será percibido tanto por los oyentes que tengan receptores digitales, como por aquellos que aún posean receptores analógicos ^[3].

Para el caso único de IBOC:

- Es necesaria la disminución del nivel de modulación de su señal analógica actual, para poder aplicar en forma simultánea la modulación digital, es decir que la gran mayoría de los oyentes, que hoy poseen receptores analógicos, van a percibir una degradación importante en el audio de sus receptores, para posibilitar que unos pocos que adquieran los nuevos receptores digitales puedan escuchar con buena calidad ^[3].
- Con base al punto anterior, la transmisión de AM estéreo analógico no es compatible con el modo híbrido.
- IBOC no es un estándar que soporte radiodifusión por satélite.
- Las estaciones de FM necesitan hacer una inversión mayor en equipo que las de AM, debido a la naturaleza de la tecnología IBOC aplicada a cada una de las bandas.

Para el caso único de DAB:

- Por su naturaleza requiere de una nueva asignación de frecuencias.
- La calidad de recepción en DAB puede ser pobre debido al débil código de corrección de errores, así, cuando existen varios errores con la información recibida, no todos los errores pueden ser corregidos y se detecta una falla en el sonido. En algunos casos puede llegar a la pérdida completa de la señal.

6.1.5 Mapa de distribución de estándares adoptados en el mundo ^[19]

La Figura 6.1, nos presenta una distribución del estado de adopción alrededor del mundo del sistema IBOC. Es visible que su concentración se da en mayor manera en el continente americano además de que no se cuenta con países que estén en estado de “operación limitada” que se refiere a aquellos países que lo han adoptado no solo de manera regional, sino que dentro de esa región solo algunas emisoras trabajan con el sistema. México está en el mismo caso, pero a causa de que su extensión territorial es grande y solo una parte del norte del país lo ha adoptado, se prefirió por mantenerlo en estado de “pruebas e interés avanzado”. También, podemos ver que solamente dos países han establecido el sistema como su estándar para radiodifusión digital, Estados Unidos y Puerto Rico. La Tabla 6.1, hace un resumen de la Figura 6.1.

Por el otro lado, la Figura 6.2, representa el mapa de distribución del estándar DAB. Como se puede ver, su concentración mayor ocurre en Europa y solamente se clasifica, según la Tabla 6.2, en dos casos; países en pruebas y países en servicio.

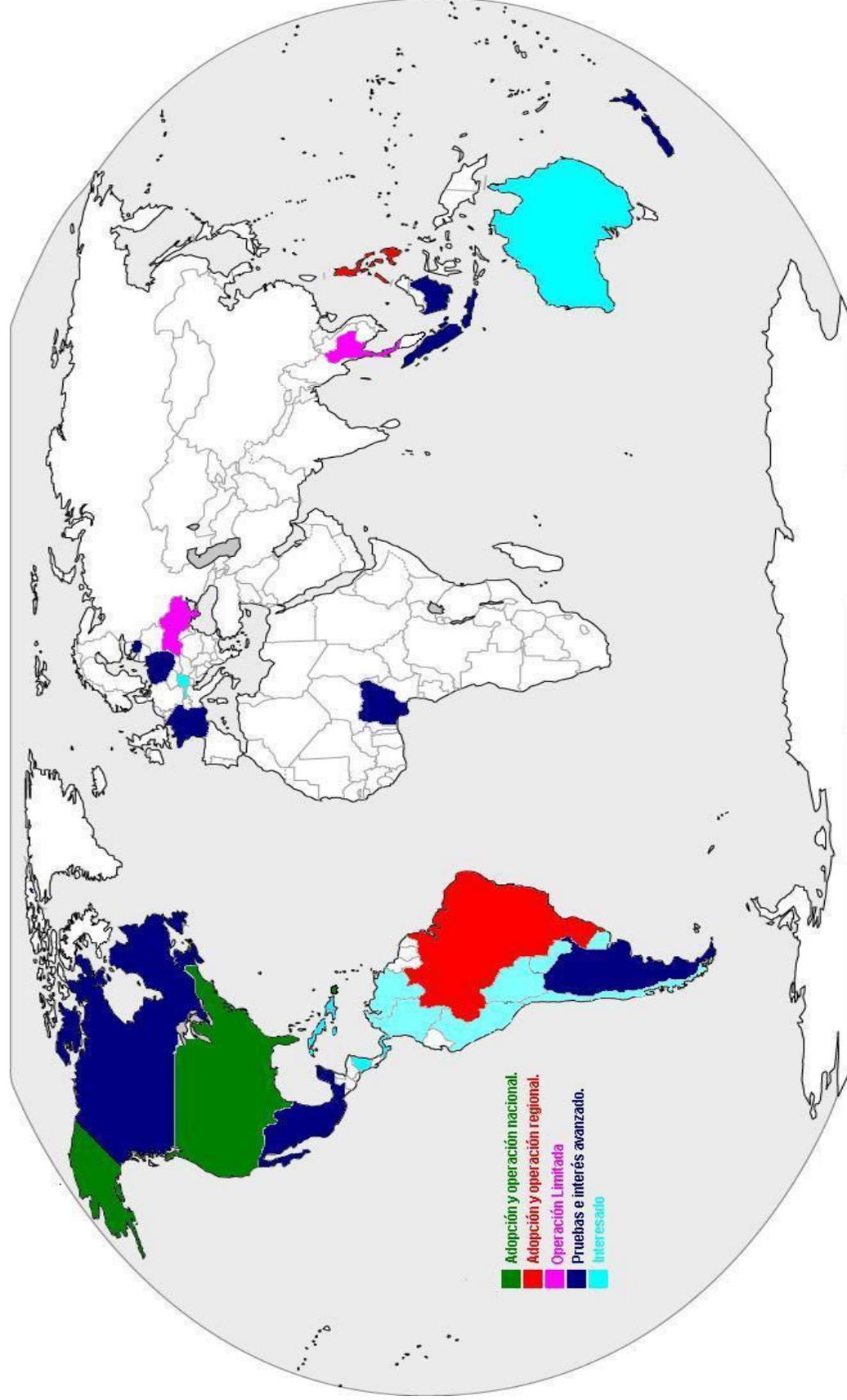


Figura 6.1 Adopción del estándar IBOC a nivel Mundial

PAIS	ESTATUS DEL ESTÁNDAR
Austria	Interesado.
Australia	Interesado.
Argentina	En pruebas y con interés avanzado.
Brasil	Adopción y operación regional.
Canadá	En pruebas y con interés avanzado.
Chile	En pruebas.
America Central	Interesado.
Francia	En pruebas y con interés avanzado (FM).
Hong Kong	En pruebas y con interés avanzado (FM).
Indonesia	En pruebas y con interés avanzado (FM y AM).
Latvia	En pruebas y con interés avanzado (FM).
México	En pruebas y con interés avanzado (FM y AM). Operación Limitada (Norte del País).
Nigeria	En pruebas y con interés avanzado.
Nueva Zelanda	En pruebas y con interés avanzado (FM).
Puerto Rico	Adoptado con operación en todo el país (FM y AM).
Filipinas	En pruebas y con interés avanzado (FM y AM).
Polonia	En pruebas y con interés avanzado (FM).
Suiza	En pruebas y con interés avanzado (Pruebas avanzadas solo en FM).
America del Sur	Interesado.
Tailandia	Operación limitada (FM – Bangkok).
Ucrania	Operación limitada (2 sitios – FM).
Estados Unidos	Adoptado y con operación en todo el país (1200+ estaciones FM y AM)

Tabla 6.1 Estado del Estándar IBOC en diferentes países

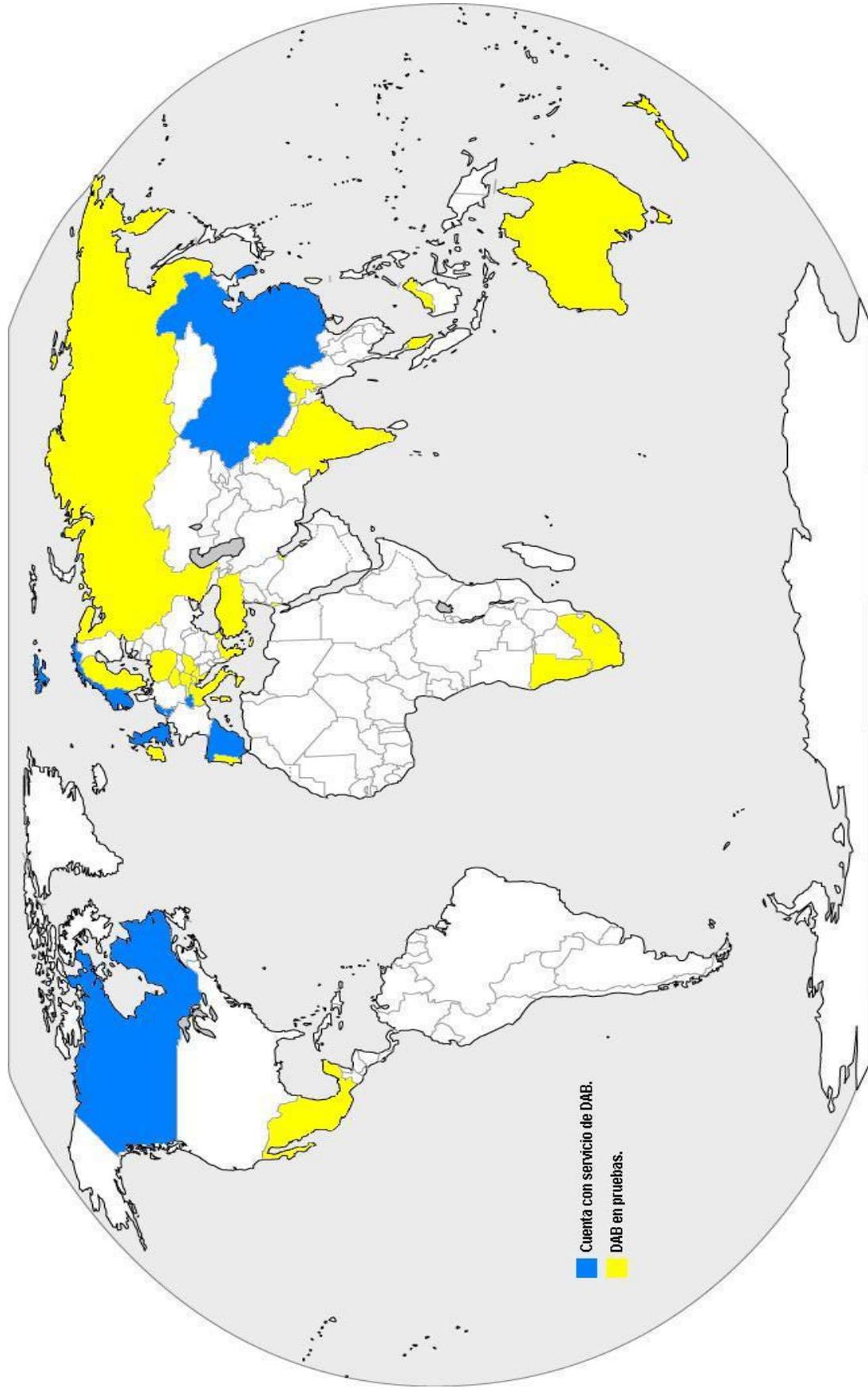


Figura 6.2 Adopción del Estándar DAB a nivel mundial [2]

PAISES EN SERVICIO	PAISES EN PRUEBAS
Bélgica	Australia
Canadá	Austria
China	República Checa
Croacia	Estonia
Dinamarca	Francia
Mónaco	Grecia
Holanda	Hong Kong
Noruega	Hungría
Portugal	India
Singapur	Irlanda
Corea del Sur	Israel
España	Italia
Suecia	Kuwait
Suiza	Lituania
Reino Unido	Malasia
	Malta
	México
	Namibia
	Nueva Zelanda
	Polonia
	Eslovenia
	Sudáfrica
	Federación Rusa
	Taiwán
	Eslovaquia

Tabla 6.2 Estado del Estándar DAB en diferentes países

6.2 Recomendación económica

A continuación, se hace una serie de recomendaciones económicas para la adopción de un estándar de radiodifusión digital.

- Se debe estudiar cuál es el caso de negocio. El objetivo del mismo es el de saber exactamente cuál es la razón de iniciar dicho proyecto. Es lógico que la adopción se hace para migrar a un esquema digital, pero se debe saber con que fines. Es decir, con que otras tecnologías móviles y/o mercados se va a competir (Internet, satélite, celular).
- El gobierno debe de ser la primera instancia que dirija el proceso de adopción (pruebas, estudios, diálogos con las partes interesadas). Por el otro lado, los radiodifusores necesitan trabajar unidos para desarrollar la posición que más se adopte a sus necesidades.
- Buscar que el nuevo estándar, tenga el menor impacto posible dentro del mercado de radiodifusión. La adopción de un estándar no adecuado puede ser una opción no viable para algunos radiodifusores que optarán por cesar sus transmisiones no continuando así a una migración digital, situación que se encuentra completamente fuera del objetivo de la digitalización.
- Tomar en cuenta, las consecuencias de la adopción. Es recomendable, que se adopte un estándar que no provoque un cambio radical en el esquema de radiodifusión y que lo haga de manera gradual, para así, ir creciendo al lado del mercado y conocer sus intereses, necesidades y problemáticas.
- En caso de una licitación de frecuencias, el gobierno debe de tomar en cuenta el impacto económico de la misma, por lo que se recomienda que en los precios por obtener una banda de frecuencia se tome en cuenta que los radiodifusores ya han pagado anteriormente por una frecuencia en una banda diferente y que cuentan además con concesión/permiso para seguir explotándola. La realización de una licitación con precios relativamente bajos da la oportunidad a radiodifusores, en especial los de AM, de que entren en la competencia, mediante la disminución de una importante barrera de entrada.
- Conducir una política de compra/venta de receptores que sea adecuada para los radioescuchas, pues, en última instancia ellos son el mercado a quien se dirige el servicio, la baja adquisición de receptores digitales hace que se pierda el acceso de la audiencia a los programas de radiodifusión.
- Los estudios de radiodifusión, deben de realizar un estudio detallado del estándar que mas les convenga (incluyendo compra de nuevos equipos o mejora de los que ya se tienen, acondicionamiento del lugar de transmisión, etc.). Ver cual es la mejor solución costo – beneficio. Además, se recomienda tener diferentes escenarios, con el fin de facilitar el proceso de adopción y disminuir la inversión necesaria.

Para finalizar, se debe de adoptar un estándar que cumpla con las recomendaciones anteriores, reitero, para que se tenga un menor impacto en el modelo económico actual.

6.3 Resultados de la comparación

En base a todo lo establecido en el capítulo anterior, se presentan los resultados de la comparación.

De la parte técnica de la comparación, resulta que el estándar DAB es ligeramente superior al estándar IBOC. El DAB cuenta con un multiplex reconfigurable que otorga mayores ventajas al radioescucha ofreciendo servicios que mejoran la experiencia de uso. Por el otro lado, las radiodifusoras se ven beneficiadas al poder escoger tanto el formato de presentación (calidad de audio) como el modo de transmisión. Además, el usuario puede mejorar la calidad del audio en entornos ruidosos gracias al control de gama dinámica. El sistema IBOC en AM cuenta con solo 2 modos de servicio, mientras que FM cuenta con un número mayor, en los dos casos los modos se reconfiguran automáticamente en forma transparente para el usuario. El multiplex de la señal, por el otro lado, contiene pocas mejoras para los usuarios en el modo híbrido, debido a las restricciones de ancho de banda pues para poder permitir una transmisión simultánea de la señal digital y la señal analógica, estas deben de compartir el ancho de banda disponible.

Un punto a favor para IBOC, es el codificador de fuente SBR AAC, que es más eficiente que el utilizado por el DAB (el MPEG Capa II). El problema, es que esta es una ventaja temporal, pues el formato DAB+ incluye un codificador de fuente con eficiencia similar al IBOC lo que libera mas ancho de banda incluso para agregar mas programas dentro del multiplex.

Para asegurar una adecuada dispersión de energía en la señal transmitida, todos los subcanales pasan por un proceso de aleatorización, para después aplicarse una codificación convolucional, la velocidad media de codificación va desde $1/3$ (nivel máximo) de protección a $3/4$ (nivel mínimo). Al final se le aplica un proceso de entrelazado. En IBOC, se utiliza de igual forma la codificación convolucional por canal. Las razones de codificación tienen valores de $1/3$, $2/5$, $1/2$ y $2/7$ en FM y de $5/12$, $2/3$ y $1/3$ para AM, todos los valores dependiendo del modo de servicio. Antes del proceso se lleva a cabo una aleatorización de la información y después del mismo se realiza el entrelazado. Como podemos ver, ambos estándares cuentan con una señal robusta que asegura una recepción fiable, además, los dos sistemas están concebidos especialmente para el funcionamiento multitrayecto

DAB cuenta con acceso condicional a cada uno de sus subcanales, permitiendo así proteger datos específicos sin necesidad de cubrir todo el multiplex, mientras que el estándar IBOC no cuenta con esa ventaja ni siquiera en todo el multiplex.

La señal IBOC utiliza una modulación de sub-portadoras 4D-PSK mientras que DAB utiliza QAM. Estos parámetros no tienen un gran peso en la robustez de la señal, sino que influyen para la recepción. Generalmente es más difícil demodular una señal QAM que una señal PSK.

DAB permite la utilización de redes de una sola frecuencia, las cuales manejan una menor potencia de transmisión debido a la ganancia interna y que permiten rellenar zonas vacías con reusos de frecuencias y transmisores de baja potencia y los repetidores pueden utilizar la misma frecuencia, sin mencionar el mejor aprovechamiento del espectro y si tomamos en cuenta que en un multiplex DAB caben 6 programas con calidad de 192 Kbps, esto equivale a que en una sola frecuencia podemos transmitir seis

programas con diferente contenido. IBOC, por su propia naturaleza, no está diseñado para su uso en redes de una sola frecuencia.

Para concluir con los resultados técnicos, los registros indican que, en todos los medios en que se realizaron ensayos, en el punto donde la señal digital comienza a degradarse, la señal de audio analógica correspondiente presenta a su vez una degradación audible. Ello significa que la señal de audio analógica se degrada a niveles de la señal en que la degradación de audio digital aún no es perceptible. Como consecuencia hasta alcanzar el nivel umbral de escucha, la calidad de la señal digital supera la calidad de la señal analógica existente, y cuando finalmente la señal digital comienza a presentar una degradación, el receptor, en el caso de IBOC pasará a la señal analógica (ya sea AM o FM) y en el caso de DAB, pasará a cualquier transmisión espejo en alguna de las bandas analógicas, si es que esta existe.

El sistema IBOC AM tiene algunos puntos débiles debido a sus requerimientos espectrales pues, como se ha visto, los problemas de interferencia son inevitables en estaciones cuyas frecuencias centrales de operación están separadas por el mínimo ancho de banda espectral de guarda. Las bandas laterales digitales del modo híbrido requieren al menos de 10 kHz a cada lado del espectro correspondiente a la señal analógica y, de acuerdo a los resultados de las simulaciones hechas ^[18], la interferencia resulta inevitable, causando que al menos una estación quede sin posibilidades de transmitir eficientemente alguna señal digital bajo ese sistema. Este hecho limita a la emisora afectada pues no podría proporcionar ningún servicio agregado y en realidad el modo híbrido no le beneficiaría en nada, ya que no podría utilizarlo para introducirse en la etapa de digitalización.

De la comparación económica de esta tesis, resultó que el estándar IBOC es el más apropiado como estándar de radiodifusión digital en México, pues el impacto económico para las radiodifusoras es un problema de consideración importante y que para este estudio resulta ser más decisivo que el resultado obtenido en la comparación económica.

El factor motivante en el comportamiento de la economía es la generación de ganancias. Por lo tanto, el producto apropiado o bien, para consideraciones económicas, debe ser aquel por medio del cual se generan ganancias. Para la radiodifusión, la fuente básica de financiamiento es la publicidad. Los radiodifusores, venden espacios de publicidad para proporcionar a los anunciantes acceso a la audiencia, obviamente, es responsabilidad de los radiodifusores generar dicha audiencia mediante programas radiofónicos de interés para el público, por lo que los radiodifusores, invierten en la generación de programas radiofónicos para crear mayor audiencia. Independientemente de los costos de producción y de administración de un programa, para nuestro caso, lo que nos importa son los costos fijos, es decir, aquellos costos cuyo importe permanece constante, independientemente de cuantos programas se transmitan. Dentro de estos costos fijos, el más importante de esta investigación es el costo de transmisión. Los costos de transmitir con el formato DAB son diez veces más caros que los costos de transmisión en la radiodifusión analógica, esto solamente para FM ^[19]. Volviendo al tema de la creación de audiencia, para que la audiencia pueda escuchar sus programas favoritos, y por lo tanto los anuncios publicitarios, es necesario que cuenten con un receptor, es decir, es necesario que puedan recibir la señal de radio. Para poder comenzar una transición y transmitir en formato digital existen básicamente dos formas, una migración repentina o

una migración paulatina. La primera implica establecer un tiempo límite para dejar de transmitir la señal analógica y comenzar a transmitir la señal digital, la segunda ofrece un escenario en el que se transmite tanto la señal digital como la señal analógica, la primera, definitivamente no es una solución viable para ningún país pues implica desechar todos los receptores analógicos existentes y comprar nuevos receptores digitales a un precio que bien puede ser alto y que por otra parte, los usuarios no estarían dispuestos a pagar, que se refleja en disminución de público radioescucha. La segunda, y la que todos los países han optado por hacer ^[2], permite diferentes escenarios de adopción, en los que la señal analógica se transmite junto con la señal digital (caso IBOC) o que la señal analógica se sigue transmitiendo en formato analógico y la señal digital se transmite con otra antena en una banda diferente de frecuencias (como es el caso de DAB), esto con el fin de producir radios que tengan la habilidad de recibir tanto la señal analógica como la digital y ofrecer un cambio gradual a los radioescuchas y así, perder menos audiencia. En cuanto a los costos fijos de la tecnología IBOC, podemos decir que son iguales a los de su contraparte analógica, pues lo único que se requiere es realizar una inversión inicial para poder modificar parcialmente el equipo de transmisión, en particular, el STL y el estudio, pues la misma antena, puede ser utilizada para transmitir en el modo híbrido, que como se mencionó anteriormente otorga una solución a la transmisión híbrida ^[20]. Tal vez, el único problema sería que es necesario pagar una licencia debido a que el sistema IBOC no es de libre licencia. En la tecnología IBOC, para dar solución a la migración gradual, es necesario transmitir tanto en analógico, como en digital por separado, es decir, con antenas diferentes, que como se mencionó anteriormente, eleva sustancialmente los costos de operación pues implica la transmisión de la misma programación por dos canales diferentes, situación que ha hecho que en Reino Unido los ingresos decrezcan en un 10% ^[19] ya que la tecnología por si sola, no es una premisa fuerte que sirva como pretexto para poder trasladar ese costo a los anunciantes, pues en teoría, se está teniendo el mismo acceso al público que con el sistema analógico. Esto ha llevado a que, con el fin de disminuir costos, en el caso de Reino Unido, las cadenas de radiodifusión metan mas programas por múltiplex, lo que implica una calidad mucho menor (de alrededor de 92 kbps), la cual es muy parecida a la de la radio analógica, además, se sacrifican servicios de valor agregado.

Así las cosas, los resultados generales de la comparación son los siguientes:

- Técnicamente, el estándar DAB es ligeramente superior al estándar IBOC, pues otorga diversos servicios de valor agregado que pueden ser explotados, el problema es que en la actualidad no todos los servicios son utilizados.
- Tanto el estándar DAB como el IBOC, cuentan con señales robustas que además son aptas para entornos multitrayecto.
- El sistema IBOC trabaja en las actuales bandas de frecuencias asignadas para la radodifusión analógica.
- La tecnología IBOC cuenta con un menor impacto en los costos operativos de transmisión de los radiodifusores que aquel que tiene el DAB, permitiendo una transición económica mucho mas suave y viable económicamente.
- Aun cuando el estándar DAB permite una mejor utilización del espectro, permitiendo transmitir mayor número de programas por frecuencia, la experiencia indica que debido a los costos de dicha transmisión, los programas se transmiten a una baja calidad.

Capítulo 6. Recomendaciones Para la Adopción

- Actualmente en México, se tiene un acuerdo en el que se establece como tecnología digital al formato IBOC para la zona de 320 km de la frontera norte.
- Aun cuando la tecnología DAB presenta una estructura tecnológica superior a la de IBOC, por cuestiones económicas relacionadas no solo con el estándar sino con los radiodifusores, es más recomendable optar por el IBOC.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

La transición de radiodifusión analógica a digital, es escenario inminente. Las actuales tecnologías de radiodifusión digital presentan atractivas opciones para dar solución a la adopción de un estándar en México, un país en donde la transmisión de televisión digital se realiza con el estándar A/53 de ATSC y que cuenta con un acuerdo que permite la utilización de un estándar de radiodifusión, el IBOC.

En el actual trabajo, se realizó una comparación entre los estándares DAB Eureka 147 e IBOC. El primero es un estándar de libre licencia desarrollado en Europa ya utilizado en 15 países alrededor del mundo y que a pesar de que en el Reino Unido ha tenido un gran éxito, en otro país, como el caso de Suiza, el gobierno ha optado por no apoyar más su adopción. El segundo, es un estándar privado desarrollado por la empresa estadounidense Ibiquity Digital Corporation que aunque ha sido adoptado solamente por 2 países (entre ellos Estados Unidos), en general ha tenido mejores resultados.

En la comparación técnica realizada a los dos estándares se pudo constatar que ambas tecnologías cumplen con los requisitos como estándares para radiodifusión digital propuestos por la recomendación UIT-R BS-1348 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, además de que las técnicas de codificación de audio, control de errores, modulación y multiplexación son muy parecidas entre sí, por lo que el estudio se basó no solo en ver que técnica era la mejor sino cual, en conjunto con las demás componentes del estándar, funcionaba de mejor manera. El resultado fue que debido a las diferencias técnicas en cuanto a la estructura de los dos estándares, era difícil determinar a que estándar se comporta mejor (principalmente en radiofrecuencia) y se concluyó que en general, en los componentes del sistema de radio digital no había una diferenciación notable. Luego entonces, con el objetivo de otorgar un resultado, se encontró que la principal diferencia recaía en los servicios de valor agregado que otorgaban los estándares y el beneficio para el usuario final, de esto, el estándar DAB Eureka 147 resultó ligeramente superior pues gracias al ancho de banda con que este cuenta (1.5 MHz), y a su capacidad de funcionamiento en redes de frecuencia única, un radiodifusor puede transmitir seis programas de radio a una calidad de 192 kbps y además servicios de valor agregado, lo que se traduce en un uso más eficiente del espectro, ventaja para la cual es necesario usar una banda de frecuencias diferente de la utilizada en la radiodifusión actual (Banda III y Banda L). Dentro del mismo múltiplex se transporta información como fecha, hora, sistema de posicionamiento global y sistema de tráfico además de datos asociados al programa que dedican información directamente relacionada con los programas de audio como son título de la canción, autor, texto de la canción en varios idiomas y otros servicios que van dirigidos a un grupo reducido de usuarios como lo son el envío de imágenes y textos a tableros de anuncios electrónicos sin mencionar el acceso condicional a cada uno de los canales.

El estándar IBOC cuenta con la ventaja de que no es necesario hacer una reasignación de espectro para poder implementarlo, pues como su nombre lo indica (In Band On Channel), este trabaja dentro de las actuales frecuencias asignadas para la radiodifusión analógica de AM y FM utilizando el actual ancho de banda de 20 kHz y 200 kHz, respectivamente. Para

el caso de AM, la calidad se mejora a un nivel de parecido al de FM y el de FM a la calidad de un CD, otra de sus ventajas es la utilización de un codificador de audio conocido como AAC+, el cual es más eficiente que el utilizado por DAB pues con una velocidad de codificación de 96 kbps, se obtiene una calidad igual a la que el codificador MPEG Capa II otorga con 128 kbps lo que se traduce en eficiencia espectral. El estándar, cuenta además con dos modos de transmisión (híbrido y totalmente digital) aplicables tanto para FM como para AM, el problema del híbrido es que debido al ancho de banda ocupado por la señal analógica, es difícil otorgar servicios de valor agregado como la información con el tiempo real del tráfico y aunque se transmita en modo totalmente digital, no son soportados aun por el estándar. En el futuro se prevé agregar más servicios como guía de programación electrónica, acceso condicional y capacidad para transmitir archivos pesados. Así las cosas, de esta parte de la investigación, se concluye que por la variedad de servicios otorgados y por su eficiencia, el estándar DAB es técnicamente más atractivo para su implementación.

En el caso de la comparación económica, resultó que es menos viable, en el sentido económico, la adopción del estándar DAB que la del estándar IBOC y es que la radiodifusión analógica no permite realizar una transición de golpe (cosa que ningún país ha realizado), pues esto repercutiría considerablemente en el mercado. Resulto ser que basado en la experiencia de otros radiodifusores a nivel mundial los costos iniciales de transmitir en DAB son diez veces más caros que los de transmitir en el actual formato analógico, costos que no se refieren a una inversión inicial (que son el pago por la obtención de una nueva banda de frecuencia, diseño e implementación de la red de transmisión y acondicionamiento de los lugares para la colocación de antenas) sino al costo de transmisión anual de una estación (que son los costos por mantenimiento de cada una de las torres de transmisión y otros equipos), y es que para llevar a cabo una transición suave es necesario que se mantengan por un tiempo las transmisiones analógicas, por lo que el costo total es el de transmitir en formato analógico más el de transmitir en formato digital. Debido a este escenario, los proveedores del múltiplex DAB han disminuido la calidad de la señal transmitida (a 92 kbps en promedio) y restringido algunos servicios de valor agregado para poder introducir más estaciones dentro del múltiplex, una grave desventaja pues de esa manera la calidad otorgada es parecida a la de la FM actual con lo cual no se proporciona diferencia alguna al radioescucha.

En el estándar IBOC, resulta que gracias al modo híbrido, que en la comparación analógica fue un factor importante para verse superado por DAB, aquellas estaciones que deseen transmitir lo pueden hacer en analógico y digital con ligeras modificaciones en la estructura de sus antenas actuales, lo que disminuye la inversión inicial y que no se refleja en los costos anuales de transmisión, de hecho, la empresa Ibiquity Digital Corporation, solamente pide un porcentaje de las ganancias mensualmente generadas como contraprestación por el uso de su tecnología. Además, esto permite a los radiodifusores ir comprando equipo poco a poco con el fin de hacer la transición de una manera lenta, por el otro lado, los radioescuchas se ven beneficiados pues pueden ir comprando su radio digital poco a poco y así se hace una introducción lenta (aun cuando en promedio, es más caro un receptor IBOC que un DAB). Así, de esta parte se concluye que el estándar IBOC es económicamente más recomendable que el estándar DAB debido a su relativa facilidad de implementación, (que se traduce en menos costos de transmisión) y a su transición suave al esquema digital con lo

que los radios analógicos existentes no se vuelven obsoletos y no se tiene un impacto grave en la industria.

En conclusión, el resultado final, es que debido al impacto económico de DAB y a que este mismo hace que los servicios de valor agregado que dan ventaja al estándar en un principio no se puedan proporcionar, se recomienda al estándar IBOC como estándar para radiodifusión digital en México, el cual sí proporciona una solución económica viable con menor impacto en el mercado de las radiodifusoras y con la tecnología necesaria para llevar a cabo una transición suave hacia las transmisiones digitales. El objetivo de esta investigación se cumplió, sin embargo esta puede ser mejorada realizando tanto un estudio económico como un estudio técnico por aparte para cada uno de los dos estándares, aplicado exclusivamente al país en interés, pues existen tantos casos de adopción como radiodifusoras que dependen considerablemente del entorno cultural, social y económico que los rodee.

Bibliografía y referencias capítulo dos.

- [1]. Wayne, Tomasi. Electronic Communications Systems, New Jersey, Prentice Hall, Quinta Edición, 2003.
- [2]. www.worlddab.org/technology/dab.
- [3]. www.worlddab.org/technology/dab/how_dab_works.
- [4]. www.ibequity.com/hd_radio.
- [5]. ITU-R Recomendación BS-1514: "Sistema para radiodifusión sonora digital en las bandas de radiodifusión por debajo de 30 MHz"
- [6]. ITU-R Recomendación BS-1114: "Sistemas de radiodifusión sonora digital terrenal para receptores en vehículos, portátiles y fijos en la gama de frecuencias 30-3 000 MHz"
- [7]. www.worlddab.org/technology/dmb.
- [8]. Informe de Vigilancia Tecnológica: Radiodifusión Sonora Digital por Satélite: Tecnologías y Servicios, Pedro José Lobo, et al, Universidad Politécnica de Madrid.
- [9]. www.xmradio.com.
- [10]. www.sirius.com
- [11]. www.1worldspace.com.
- [12]. NRSC-5, In-band/on-channel digital radio broadcasting standard, Edición final, National Radio Systems Committee, Abril 2005.

Bibliografía y referencias capítulo tres.

- [1]. ITU-R Recomendación BS-1114: Sistemas de radiodifusión sonora digital terrenal para receptores en vehículos, portátiles y fijos en la gama de frecuencias 30-3 000 MHz
- [2]. www.mpeg.org/MPEG/audio/
- [3]. ETSI ES 201 980, Digital Radio Mondiale (DRM) System Specification. Version 2.2.1, Octubre 2005.
- [4]. MPEG-4: HE-AAC v2 - Audio Coding For Today's Digital Media World, Stefan Meltzer, Gerald Moser, EBU Technical Review, January 2006.
- [5]. Coding and decoding with convolutional codes, Charan Langton, www.complextoreal.com, July 1999.
- [6]. How Forward - Error Corecting Codes Work www.aero.org/publications/crosslink/winter2002/04_sidebar1.html.
- [7]. Introduction to Reed Salomon codes, Henry Minsky www.beartronics.com/rscode.sourceforge.net/rs.html
- [8]. Intuitive Guides to Principles of Communications, Charan Langton. www.complextoreal.com
- [9]. Orthogonal Frequency Division Multiplexing Tutorial. Charan Langton. www.complextoreal.com, 1998.
- [10]. *Digital Techniques in Broadcasting Transmission*. Focal Press, Woborn, MA, 1999.
- [11]. *ETS 300 401, Radio broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (ADB) to mobile, portable and fixed receivers*, second edition, Mayo 1997.
- [12]. NRSC-5, In-band/on-channel digital radio broadcasting standard, edición final, National Radio Systems Committee, Abril 2005.

Bibliografía y referencias capítulo cuatro.

- [1]. ITU-R Recomendación BS-774: “Necesidades Del Servicio Relativo A La Radiodifusión Sonora Digital Para Receptores A Bordo De Vehículos, Portátiles Y Fijos, Mediante Transmisores Terrenales, En Las Bandas De Ondas Métricas Y Decimétricas”
- [2]. ETS 300 401, Radio broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (ADB) to mobile, portable and fixed receivers, Segunda edición, Mayo 1997
- [3]. Conversion Requirements for AM & FM IBOC transmission, Jeff R., iBiquity Digital Corporation.
- [4]. ITU-R Recomendación BS-1514: “Sistema para radiodifusión sonora digital en las bandas de radiodifusión por debajo de 30 MHz”
- [5]. NRSC-5, In-band/on-channel digital radio broadcasting standard, edición final, National Radio Systems Committee, Abril 2005
- [6]. The structure and generation of robust waveforms for AM in band on channel digital broadcasting, Steven A., iBiquity Digital Corporation.
- [7]. The structure and generation of robust waveforms for FM in band on channel digital broadcasting, PAul J., iBiquity Digital Corporation.

Bibliografía y referencias capítulo cinco.

- [1]. ITU-R Recomendación BS-1114: “Necesidades Del Servicio Relativo A La Radiodifusión Sonora Digital Para Receptores A Bordo De Vehículos, Portátiles Y Fijos, Mediante Transmisores Terrenales, En Las Bandas De Ondas Métricas Y Decimétricas”
- [2].
- [3]. ETS 300 401, Radio broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers, second edition, Mayo 1997.
- [4]. Air Interface Design Description – Layer 1 AM
- [5]. Air Interface Design Description – Layer 1 FM
- [6]. Air Interface Design Description – Layer 2 Channel Multiplex
- [7]. Air Interface Design Description – Program Service Data
- [8]. NRSC-5, In-band/on-channel digital radio broadcasting standard, edición final, National Radio Systems Committee, Abril 2005
- [9]. SCT-Infraestructura de Estaciones AM y FM.
- [10]. Ampliaciones y Correcciones a la Manifestación de Impacto Regulatorio del Anteproyecto Regulatorio Acuerdo de Política de Transición a la Radio Digital Terrestre (RDT), de estaciones de radiodifusión sonora ubicadas dentro de la zona de coordinación de la frontera norte de México.
- [11]. www.ibiquity.com
- [12]. www.amazon.com
- [13]. www.worlddab.com
- [14]. Ofcom – The Future Of Radio Platform-Neutral.

Bibliografía y referencias capítulo seis.

- [1]. ITU-R Recomendación BS-774: “Necesidades Del Servicio Relativo A La Radiodifusión Sonora Digital Para Receptores A Bordo De Vehículos, Portátiles Y Fijos, Mediante Transmisores Terrenales, En Las Bandas De Ondas Métricas Y Decimétricas”
- [2]. Global Broadcasting Update, World DMB, Enero 2009.

- [3]. Camino a la radio digital pero sin sobresaltos, , Eduardo Esarte, Blog Radiodifusión y Tecnología
- [4]. By the numbers, StopIboc.com, Septiembre 2008.
- [5]. DAB Ensembles Worldwide, www.wohnort.demon.co.uk/DAB/uknat.html.
- [6]. Comisión Federal de Telecomunicaciones, www.cofetel.gob.mx.
- [7]. Ley Federal de Telecomunicaciones
- [8]. Ley Federal de Radio y Televisión
- [9]. Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias, Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- [10]. NOM-01-SCT1-93: Especificaciones y requerimientos para la instalación y operación de estaciones de radiodifusión sonora moduladas en amplitud.
- [11]. NOM-02-SCT1-93: Especificaciones y requerimientos para la instalación y operación de estaciones de radiodifusión sonora en la banda de 88 a 108 MHz, con portadora principal modulada en frecuencia.
- [12]. Ley Federal Sobre Metrología y Normalización.
- [13]. Lineamientos para la transición a la radio digital terrestre (RDT), de las estaciones de radiodifusión sonora ubicadas dentro de la zona de 320 kilómetros de la frontera norte de México, COFETEL, Febrero 2008.
- [14]. Ampliaciones y Correcciones a la Manifestación de Impacto Regulatorio del Anteproyecto Regulatorio Acuerdo de Política de Transición a la Radio Digital Terrestre (RDT), de estaciones de radiodifusión sonora ubicadas dentro de la zona de coordinación de la frontera norte de México, SCT, Octubre 2007.
- [15]. Acuerdo por el que se establecen los requisitos para llevar a cabo el cambio de frecuencias autorizadas para prestar el servicio de radio y que operan en la banda de Amplitud Modulada, a fin de optimizar el uso, aprovechamiento y explotación de un bien del dominio público en transición a la radio digital, COFETEL, Septiembre 2008.
- [16]. Analog Radio VS. Digital Radio, Digitalradiotech, www.digitalradiotech.co.uk/analog_vs_digital.html.
- [17]. Worldwide HD Radio Implementation Status, Ibiqity Digital Corporation.
- [18]. Tesis sobre el Estudio de la Asignación Espectral de Radio Digital en la Banda de Onda Media en México, Javier Rodríguez Huerta, 2008.
- [19]. http://www.theregister.co.uk/2008/10/09/uncouple_dab_albatross/
- [20]. A Planning Guide:Determining the Best IBOC Migration Path for Your AM or FM Radio Station, Keith A. Mullin, Harris Broadcast Communications.