



Universidad Nacional Autónoma de
México

Facultad de Ingeniería

Análisis del Sistema de Radiodifusión Digital DAB Eureka 147 y el estudio de su aplicación en México

Tesis que para obtener el Título de

Ingeniero en Telecomunicaciones

Presenta

Jonathan Gutiérrez Sierra

Directora de Tesis

Dra. Fátima Moumtadi





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS

A mis padres Consuelo Sierra y Raúl Gutiérrez, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí.

A mi hermano Giovanni Gutiérrez, sé que cuento con él para siempre

A Brenda por estar apoyándome y brindándome su amor y cariño.

A todos, a mis tíos, a mis primos, a mis abuelos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater La Universidad Nacional Autónoma de México, la cual me ofreció la oportunidad de estudiar en sus memorables y prestigiosas instalaciones como alumno de la Facultad de Ingeniería, permitiéndome formar como un mejor profesionalista y ser humano.

A mi director de tesis Dra. Fátima Moutadi quien puso todos sus conocimientos para que yo pudiera realizar esta investigación.

En general a todas las instituciones, organismos, bibliotecas, documentos, que contribuyeron a facilitarme el acceso a la información requerida para así poder alcanzar los objetivos planteados de esta tesis.

Índice de Contenido

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 6 |
| CAPÍTULO 1 | |
| 1. Sistemas de Radiodifusión Sonora Analógicos | 11 |
| 1.1. Historia Breve de la Radio | 13 |
| 1.2. Breve Historia de la Radio en México | 14 |
| 1.3. Sistema de Amplitud Modulada (AM) | 16 |
| 1.4. Sistema de Frecuencia Modulada (FM) | 18 |
| CAPÍTULO 2 | |
| 2. Sistemas de Radiodifusión Sonora Digital | 20 |
| 2.1. Sistema Digital Audio Broadcasting (DAB) Eureka 147 | 21 |
| 2.1.1. Descripción General | 21 |
| 2.2. Sistema In-Band On-Channel (IBOC) | 24 |
| 2.2.1. AM - IBOC | 24 |
| 2.2.1.1. Capas AM – IBOC | 25 |
| 2.2.2. Modo Híbrido | 25 |
| 2.2.3. Modo Solo – Digital | 27 |
| 2.2.4. Canales Definidos en el Sistema | 28 |
| 2.3. Sistema Digital Radio Mondiale (DRM) | 30 |
| 2.3.1. Codificador y Características de la Señal | 33 |
| 2.4. Sistema Integrated Services Digital Broadcasting (ISBD) | 33 |
| 2.5. Sistema de Radiodifusión Digital por Satélite | 38 |
| 2.5.1. DARS | 39 |
| 2.5.2. XM Satellite Radio | 40 |
| 2.5.3. Sirius Satellite Radio | 42 |
| 2.5.4. World Space | 44 |
| 2.6. Desarrollo de los Sistemas en el Mundo | 46 |
| 2.6.1. Situación del Sistema Eureka | 47 |
| CAPÍTULO 3 | |
| 3. Sistema DAB Eureka 147 | 50 |
| 3.1. Características Técnicas de Funcionamiento del Sistema DAB Eureka 147 | 51 |
| 3.1.1. Forma de Difusión de DAB | 51 |
| 3.1.2. Generación de la Señal DAB | 52 |
| 3.1.3. Implementación de una Red Terrestre DAB | 53 |
| 3.2. Recepción de la Señal DAB | 54 |
| 3.2.1. El receptor DAB | 55 |
| 3.3. Codificación de Audio | 56 |
| 3.4. Codificación de Transmisión (de Canal) y Multiplexación | 57 |
| 3.5. COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex) | 58 |

| | |
|--|-----------|
| 3.5.1. Portadoras COFDM | 59 |
| 3.6. Protocolo MO (ROT) | 61 |
| 3.6.1. Mecanismos de Transmisión | 65 |
| | |
| CAPÍTULO 4 | |
| 4. Reglamentación Actual de la Radiodifusión Digital en México ... | 67 |
| 4.1. Aspectos Reglamentarios y Legales..... | 68 |
| 4.1.1. Limitaciones | 72 |
| 4.2. El marco Jurídico existente en México para regular la Radio Digital | 75 |
| 4.3. Requisitos Normativos para la Implantación de un Nuevo Sistema de Radiodifusión Digital..... | 76 |
| 4.4. Recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) sobre la Radiodifusión Sonora Digital | 78 |
| | |
| CAPÍTULO 5 | |
| 5. Expectativas de la Implantación del Sistema DAB Eureka 147 en México | 82 |
| 5.1. Pruebas Iniciales del Sistema DAB Eureka 147 | 83 |
| 5.2. Situación Actual del Sistema DAB Eureka 147 | 86 |
| 5.3. Recomendaciones para la Adopción e Implementación del Sistema de Radiodifusión Sonora Digital Eureka 147 DAB en México..... | 88 |
| 5.4. Ventajas y Desventajas | 90 |
| 5.5. Interferencias entre Estaciones de Radio AM utilizando el Sistema IBOC | 92 |
| 5.5.1. Asignación Espectral en México en la Banda de Frecuencias de Onda Media | 93 |
| 5.5.2. Estudio para el Sistema AM – IBOC..... | 95 |
| | |
| Bibliografía y Referencias..... | 97 |
| | |
| CONCLUSIONES..... | 99 |

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

En estas épocas sabemos que los desarrollos tecnológicos han llevado a la creación de nuevos servicios de telecomunicaciones, y la radio sigue siendo uno de los de mayor importancia, debido a su cobertura, contenido, permanencia y gratuidad.

En el caso de la radiodifusión sonora, el uso de la tecnología digital permite multicanalidad, mejoramiento en la calidad de la emisión y la incorporación de nuevos servicios tales como interactividad, transmisión de textos, videos o imágenes que se pueden difundir junto con el audio.

Para llegar a este concepto, como lo es la radiodifusión, numerosas personas debieron pasarse años experimentando. Todos ellos han aportado algo a la radiodifusión. Quienes fueron y con qué colaboraron, es algo desconocido para muchas personas, de esto se hablara un poco en el capítulo 1 de esta tesis.

Estamos presenciando a uno de los cambios tecnológicos más sustanciales en materia de telecomunicaciones y radiodifusión en casi un siglo, la digitalización, pero de momento, y especialmente en el ámbito radiofónico, existe bastante confusión, muchos lugares comunes y una radio digital cuyo futuro sigue todavía bastante desdibujado.

Teóricamente todo parecía factible de realizar, porque la tecnología lo permitía. Surgió entonces, la discusión de las bandas a utilizar. En la actualidad no existe un criterio único a escala mundial respecto de las bandas a utilizar, este fue entre otros, uno de los problemas que impidieron el comienzo de una producción masiva de los transmisores y receptores.

Tampoco debe descartarse como origen de las diferencias la gran influencia de la "regionalización" de la UIT, que ubica a Europa en la Región 3 y a América en la Región 2; cada una con una particular atribución del espectro radioeléctrico. Aun cuando las atribuciones de radiodifusión en general son las mismas tienen algunas diferencias, por ejemplo, en Europa la banda de FM comienza en 87.5 MHz y no 88.1 como en América por lo cual hay una diferencia en la canalización. De igual manera, para la banda de AM la única diferencia radica en la canalización, la cual es en Europa cada 9 KHz. en contraposición con América que es a 10 KHz. En lo que respecta a la banda de 1,4 GHz, su atribución es la misma en ambas regiones.

Inicialmente surgieron dos sistemas: el europeo y el norteamericano, el europeo conocido como Eureka 147. En Europa existía una organización

técnica que había administrado muchos proyectos técnicos a través de los años, esta organización se denominaba Eureka y a ella en 1987 ingresó el proyecto "Digital Audio Broadcasting System" y su número correlativo de ingreso a esta organización fue el 147, de ahí su denominación de EUREKA 147.

En lo que respecta al sistema norteamericano, conocido como IBOC: (In Band On Channel), el principal impulsor de este fue el consorcio USADR (Usa Digital Radio), hoy conocido como Ibiquity. Este consorcio se estableció en el año 1991.

No existe un único estándar para la distribución de la radio digital, como sí lo fuera la Frecuencia Modulada. Los estándares de digitalización del proceso de distribución están resultando un obstáculo, un freno por cuanto responden a lógicas de política industrial o requieren, como es el caso del Eureka 147 europeo, de la creación de un panorama radiofónico totalmente a medida: nuevas bandas de frecuencias, nuevos receptores, nuevos programas, quizás nuevas audiencias. Todos estos estándares son apuestas comerciales nacionales de diversa índole, sólo que unos países los aplican a los mercados existentes y otros no.

En el capítulo dos, detallaremos un poco los principales estándares tecnológicos de radio digital. Podríamos seguir varios caminos para desarrollar esta explicación pero finalmente he optado por guiarnos por los 4 grandes estándares de radio terrestre: el DAB europeo; el IBOC estadounidense; el ISDB japonés y el mundial DRM y también se hablará de los sistemas satelitales de radiodifusión.

En 1994, se formó el EuroDAB Forum para fomentar la introducción del DAB y en 1997 se convirtió en el WorldDAB Forum. A pesar de que mantiene como dirección de su página web la de www.worlddab.org, basta fijarse un poco en su logo para darse cuenta de los cambios que va sufriendo. Efectivamente, la "A" de DAB parece también una "M" de Multimedia y debajo del logo consta Digital Multimedia Broadcasting. Radio - Mobile TV - Multimedia - Traffic Data. Es decir DMB, uno de los estándares basados en el DAB, de particular historia que después recordaremos. Así pues, a partir de 2007 se le conoce como WorldDMB. La propia organización se encarga de recordarnos en su página que los acrónimos utilizados para describir de formas distintas (y a veces como sinónimos) tecnologías de radiodifusión digital de radio y televisión son: DAB, DMB, DAB-IP, DxB, DRB, eDAB, T-DMB, S-DMB, DMB-T, DVB, DVB-T, DVB-H, DVB-S. Los que llevan la "S" se refieren a la versión vía satélite; la "T" es de terrestre (terrestrial) que también conocemos como vía hertziana; la "H" se refiere a handheld, es decir dispositivos de mano; "IP" hace referencia al protocolo de Internet; y la "e",

en e-DAB, se refiere aquí a "extended". DRB significa Digital Radio Broadcasting y es otra forma de nombrar la radio digital en genérico.

En México, la comunicación a través de la radio es una actividad de interés público que tiene como función social la de contribuir al fortalecimiento de la integración nacional y al mejoramiento de las formas de convivencia humana, por lo que es necesario que este servicio se preste en las mejores condiciones tecnológicas en beneficio de la población.

En este contexto, el servicio que proporcionan las estaciones de radio, tienen como propósito fundamental, el llegar a cada una de las localidades del territorio nacional, a fin de satisfacer la importante necesidad de comunicación a los habitantes de nuestro país.

Ante el fenómeno mundial de la digitalización que se presentó a finales de la década de los noventas, México se insertó en la dinámica de la evolución tecnológica, a fin de encontrarse acorde con las tendencias internacionales, principalmente por lo que respecta a la optimización y uso adecuado del espectro Radioeléctrico.

La COFETEL ha participado en diversas reuniones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), lo cual permitió contar con la información técnica necesaria para evaluar el grado de desarrollo de los estándares digitales que se venían analizando en la UIT.

La siguiente tesis esta ordenada de la siguiente manera:

El **primer capítulo** es una breve reseña acerca de la historia de la radio a nivel mundial y también en México, además de antecedentes de los sistemas de comunicaciones y una explicación sencilla de los sistemas de amplitud y frecuencia modulada.

En el **segundo capítulo** se realiza un repaso breve y general a los estándares y plataformas de distribución de audio. Cada uno de ellos merece especial atención ya que un estándar no es sólo un conjunto de normas tecnológicas de funcionamiento y mejora de la calidad del audio sino también la representación de un modelo de radiodifusión que puede encajar y / o contrastar más o menos con el modelo analógico imperante hasta el momento.

En el **tercer capítulo** se explica a detalle de las principales características del sistema Eureka 147 DAB describiendo cuál es su forma de generación y

de recepción el tipo de codificación que usa además de ventajas y desventajas.

En el **cuarto capítulo**, una vez vistos los detalles técnicos del sistema DAB, se habla acerca de la reglamentación que existe actualmente en el país, para poder así implementar un sistema de radiodifusión digital y también de algunas recomendaciones de organismos importantes como la UIT.

El **quinto capítulo** de esta tesis se plantea cuáles serían las expectativas para poder implementar este sistema (Eureka 147 DAB) en México, también de acuerdos o lineamientos que la COFETEL ha publicado en cuanto a la radiodifusión digital se refiere, al igual de cuales han sido sus resultados en pruebas anteriores y su situación actual de dicha tecnología.

Por último están las **conclusiones** de este trabajo y de porque se debe o no implementar el Eureka 147 DAB en nuestro país como tecnología para la radiodifusión digital en nuestro país.

CAPÍTULO 1

SiStemaS de radiodi fuSión Sonora anal ógicoS

1. Sistemas de Radiodifusión Sonora Analógicos

Un sistema de radiodifusión se encarga de producir y difundir, mediante un medio de transmisión, señales electromagnéticas de audio o video destinadas a un público determinado. La radiodifusión de audio que emplea como medio de transmisión al aire utiliza técnicas de modulación llamadas Amplitud Modulada (AM) y Frecuencia Modulada (FM).

Las ondas electromagnéticas están formadas por la conjunción de un campo eléctrico y otro magnético, esta unión permite la transmisión de las ondas por el espacio, es decir, su propagación. Para caracterizar una onda electromagnética se establecen tres parámetros:

- Frecuencia: Se refiere a un fenómeno periódico de ocurrencia cíclica como una onda sonora.
- Velocidad: Es igual a la velocidad de la luz (300.000 Km/s) y es independiente de la frecuencia.
- Longitud de onda: Es la velocidad de propagación (velocidad de la luz) dividida entre la frecuencia.

Para realizar la radiodifusión, el audio que se encuentra en señales eléctricas se convierte mediante un emisor en corrientes de Radio Frecuencia (RF), estas a su vez se transforman en ondas electromagnéticas al ser aplicadas a una antena de emisión. Por el contrario, estas ondas al ser captadas por la antena de un receptor, se convierten en débiles corrientes eléctricas; las cuales son amplificadas y tratadas para que puedan excitar el altavoz. Figura 1.1

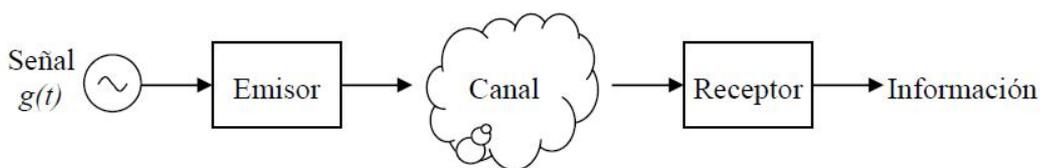


Figura 1.1. Sistema de Comunicaciones

Para transmitir información es necesario manipular la onda de emisión. A la onda que se genera en el transmisor mediante un circuito electrónico, conocido como oscilador, se le llama onda portadora y es la que transporta la información.

Es necesario realizar una sintonización para recibir la información adecuadamente, es decir, el oscilador del receptor y del transmisor deberán estar trabajando a la misma frecuencia. En el receptor la onda

portadora es anulada o seleccionada y amplificada gracias a la sintonización.

El tipo de transmisión más empleado es el que utiliza dos osciladores, el de RF, que genera la portadora, y el de Audio Frecuencia (AF); ambas señales se mezclan de forma que la señal de AF se monta sobre la señal de RF, lo que se conoce como modulación. Los métodos de modulación más conocidos para la transmisión de sonido e imagen son modulación de amplitud y modulación de frecuencia.

1.1. Historia Breve de la Radio

Investigando los fenómenos correspondientes a las oscilaciones que no son perceptibles a nuestro oído, el hombre ha conseguido generar y utilizar ondas de frecuencia superior a 20 KHz. Con ello nació la radio, de esta manera quedó liberado el vínculo que existía con los hilos conductores usados en telefonía y telegrafía. Así en la década de 1830, Morse puso en práctica la comunicación telegráfica, e inventó un código, que consiste en asignar a cada letra, número o signo ortográfico, uno o varios intervalos de distinta duración de tiempo (conocidos como rayas o puntos). Este código es el llamado código Morse.

Fue el físico escocés Maxwell en 1865 quien afirmó que las oscilaciones eléctricas de frecuencias muy altas se podían propagar por el espacio, a una velocidad de 300,000 Km por segundo aproximadamente, ya que la luz no es otra cosa que la manifestación visible de una onda electromagnética.

Estas teorías fueron confirmadas por el físico alemán Heinrich Hertz de una forma práctica en 1887 (de ahí el nombre de ondas herzianas y la unidad de medida el Hertz). Produjo ondas electromagnéticas generadas al saltar una chispa de alto voltaje entre dos electrodos, y demostró que poseían las propiedades de la luz. Esto suponía la comprobación experimental de la existencia de ondas electromagnéticas. Construyó un circuito oscilante que producía unas ondas capaces de trasladarse por el espacio y ser detectadas por un cable eléctrico a modo de antena en el que se generaba una corriente eléctrica oscilante similar a la producida en el circuito de origen, abriendo así el camino de la telegrafía sin hilos.

A su vez el ingeniero ruso Alexander Popov, en 1889 fue quien reprodujo la experiencia de Hertz y observó que la sensibilidad del cohesor (reveladores de ondas electromagnéticas), aumentaba al conectarlo a un hilo conductor que suspendió a una cometa, inventando así la antena. He de decir que Rusia considera a Popov como el auténtico inventor de la radio.

El físico e inventor italiano de Bolonia, premio nobel de física en 1909, Guillermo Marconi, unió estas experiencias y descubrimientos. Así, tras dos años de experimentos, con el empleo del aparato de Hertz, la antena de Popov, y el cohesor de Branly, logro realizar en Bolonia, en 1894, una transmisión de telegrafía sin hilos a una distancia de 250 m. Patentando así el invento en 1896. La experiencia se llevó a cabo en el patio de su propia casa, extendiéndose más tarde a un punto "más allá de las colinas" de la campiña que circundaba su hogar: la telegrafía sin hilos había sido inventada. "The Marconi Wireless Telegraph Signal Co.". Como se llamó en definitiva la empresa para utilizar comercialmente su invento, daría sucesivamente nuevos y sorprendentes avances.

Sin apoyos en Italia para su grandioso invento, continuó sus experiencias en Gran Bretaña, de esta manera, con las mejoras realizadas en el sistema de antena- tierra estableció una comunicación a través del canal de Bristol y en 1901 una comunicación a través del Atlántico entre Poldhu y Terranova. Las primeras transmisiones de carácter público no fueron llevadas a cabo hasta el año 1920.

Los trabajos realizados hasta entonces por Marconi eran todavía transmisiones telegráficas en clave Morse. No fue sino en 1906 que el canadiense Reginald A. Fessenden logró transmitir el sonido de la voz humana y de instrumentos musicales.

La primera radiodifusión de audio de la historia se realizó en 1906 en Massachusetts y las primeras emisiones regulares de radio analógica del mundo se realizaron en Estados Unidos y Argentina en 1920.

1.2. Breve Historia de la Radio en México [1]

La radio es el medio de comunicación que tiene una historia de más de 70 años en México, en el comienzo los pioneros de este medio tenían una visión experimentadora que se transformó en interés empresarial por los radiodifusores de los años treinta quienes convirtieron a la radio en una industria. Los hermanos Gómez Fernández fabricaron el aparato que generaría la transmisión de un breve programa de radio en un teatro, ellos fueron los pioneros de este medio en México, tuvieron una emisora de radio desde el 27 de septiembre de 1921 hasta enero de 1922. Así en distintos puntos del país varias personas iniciaron las primeras transmisiones radiofónicas, por ejemplo Constantino de Tárnava en Monterrey.

Fue en 1933 cuando las empresas radiodifusoras comenzaron a hacer dinero, ya que en este año se permitió que el 10% de las transmisiones diarias tuvieran propaganda comercial, pero el gobierno no lo autorizó

con el solo fin de incrementar la economía en este medio sino que esta ley vino acompañada de otra, la cual decía que se debía pagar el 5% de los ingresos como impuesto. En 1937 se formó la Asociación Mexicana de Estaciones Radiodifusoras Comerciales, conocida como la AMERC, una asociación que estaba formada por 20 radiodifusoras de todo el país, con el fin de defender los diferentes intereses comunes de los radiodifusores.

Otro año muy importante en el estudio del éxito que tienen las radiodifusoras más importantes fue 1945, pues comenzaron las cadenas radiofónicas a formarse. Las emisoras fuertes propusieron a las débiles unírseles con el fin de ofrecer una mejor programación y beneficiarse mutuamente al proporcionarse unos a otros lo elemental para crecer tecnológicamente y así los dos poder recibir más dinero por los espacios publicitarios. La radio se ha convertido en uno de los medios masivos publicitarios más exitoso, ejemplo de ello es la inversión publicitaria estimada en 568 millones de dólares en 1989 y en 1,939 millones de dólares en 1994.

Únicamente sufrió una baja en 1995 a causa de la crisis económica del país, sin embargo volvió a crecer en el 96 y hoy en día continúa siendo un medio principalmente comercial. Los eventos y las noticias importantes lograron que la radio tuviera un auge impresionante en su momento, por ejemplo el terremoto del 85 fue una noticia que amplió la credibilidad y le generó éxito a la radio pues fue el único medio que podía ser escuchado y con el cual la gente se informó de todo lo que sucedía, así como este tipo de información, los eventos deportivos le generaron a la radio mucho éxito pues eran narrados excelentemente y la gente sin televisión recurría a este medio. Desde los inicios de la radio en México existen dos tipos de estaciones: las comerciales y las públicas. Por ejemplo en los sesenta y setenta en México la radio decayó debido a que no informaban ni hablaban de lo que sucedía en México, sin embargo fue a partir de 1976 que la radio regresó, sobre todo al informar sobre el terremoto en 1985 en que "la puerta se abrió completamente para el impulso y despliegue de la radio".

Los programas radiofónicos de mayor éxito hoy en día son los que se componen de música y los noticieros, los cuales son escuchados en trayectos principalmente dentro del automóvil o transporte público. La radio como cualquier medio de comunicación ha cambiado y evolucionado, se ha remediado y en México ha tomado diferentes formas de ser concebida. Es claro que aún es un medio vigente con muchas posibilidades sobre todo en el campo multi-mediático y con el uso de nuevas tecnologías, complementándose con Internet y siempre sirviendo las necesidades del público consumidor.

1.3. Sistema de Amplitud Modulada (AM)

Las señales de AF, que van de los 20 Hz a los 20 KHz, no pueden viajar a largas distancias, en cambio las señales de RF son de frecuencias más elevadas y pueden desplazarse a mayores distancias con una potencia mucho menor. Es por eso que para transmitir información (señal de AF) a gran distancia, esta señal modula o codifica a una portadora (señal RF)

En un modulador AM las señales de entrada son la RF de amplitud y frecuencia constante y la AF o moduladora y el parámetro que se modifica en la señal portadora por la señal moduladora es la amplitud.

Un transmisor de AM cuenta con un oscilador que produce una corriente eléctrica de muy alta frecuencia (radiofrecuencia), cuyo valor se encuentra entre los 30 kHz y 300 MHz; esta corriente se amplifica y se aplica a un modulador. Por otra parte, una señal con frecuencias acústicas (audiofrecuencia) se transforma en una corriente eléctrica, es amplificada y se alimenta al modulador. Éste mezcla ambas señales produciendo una corriente de alta frecuencia modulada en su amplitud; la cual lleva incorporadas las características de la señal de audiofrecuencia.

Finalmente, la corriente modulada se hace pasar por la antena que emite ondas electromagnéticas con la misma frecuencia y amplitud que tiene la corriente que la alimentó. La frecuencia de emisión de la estación de radio es la frecuencia que produce el oscilador. Figura 1.2.

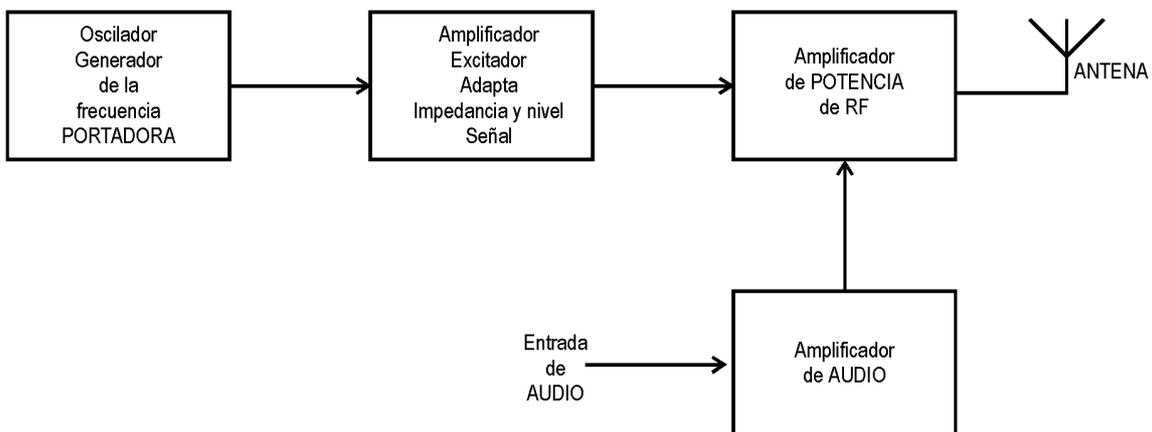


Figura 1.2. Transmisor de AM

En el proceso de modulación la amplitud de la portadora varía de acuerdo a la variación de la señal de audio. La amplitud de la envolvente de la portadora modulada, depende de la amplitud de la portadora y de la moduladora (la señal de audio). Figura 1.3.

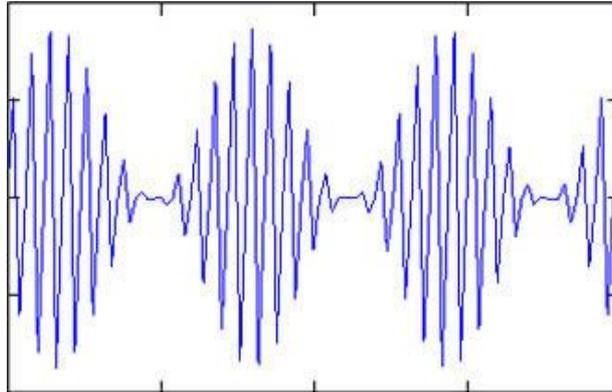


Figura 1.3. Señal Modulada

En la recepción, las ondas electromagnéticas son captadas por medio de una antena, en la que se induce una corriente eléctrica con las mismas características de frecuencia y amplitud de las ondas. La corriente es seleccionada de cualquier otra emisión o ruido con un sintonizador de frecuencia. Posteriormente, se amplifica, se hace pasar por un filtro, que elimina la componente de alta frecuencia y se hace pasar a una bocina que la transforma en una onda de sonido. Figura 1.4

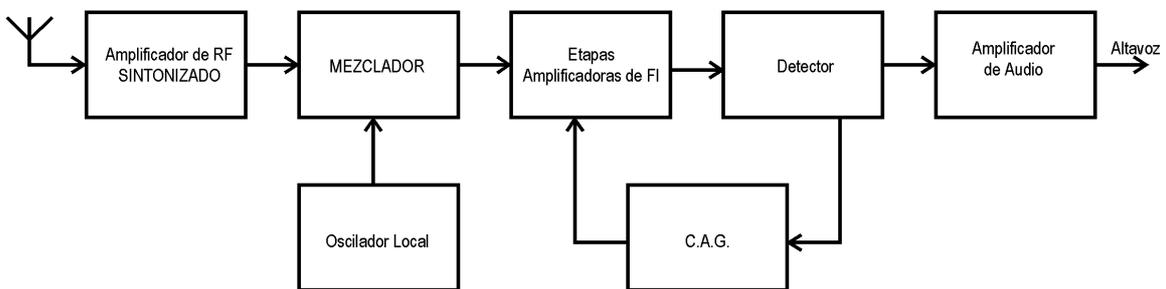


Figura 1.4. Receptor de AM o Superheterodino.

Al realizar el proceso de modulación se tienen tres frecuencias: La frecuencia de la portadora f , la frecuencia suma de la portadora y la información y la frecuencia diferencia de la portadora y la información.

Esto significa que la información no la compone una onda única, sino varias dentro de una banda, se necesita un gran ancho de banda para transmitir información con buena calidad de sonido, cuya frecuencia estuviera entre los 20 Hz y 20 KHz.

Sin embargo, en la recepción con amplitud modulada los desvanecimientos de señal no provocan demasiado ruido, por lo que es empleado en algunas comunicaciones móviles, entre un avión y la torre de

control por ejemplo. Por otra parte, la modulación en amplitud tiene el inconveniente de ser vulnerable a las interferencias.

1.4. Sistema de Frecuencia Modulada (FM)

En 1933 Armstrong inventó otro tipo de emisión de señales de radio, la frecuencia modulada. En este sistema la frecuencia emitida por el oscilador se cambia de acuerdo con el valor de la amplitud de la onda sonora que se desea transmitir. Mientras más intensa sea la onda acústica, mayor será el valor de la frecuencia de la onda emitida.

La frecuencia modulada tiene varias ventajas sobre la AM, la más importante es que casi no le afectan las interferencias y descargas estáticas. La FM se propaga por ondas directas como consecuencia de su ubicación en la banda de frecuencia de entre los 88 y 108 MHz.

La transmisión por modulación de frecuencia consiste en modular la portadora de forma que la señal de entrada o AF (Figura 1.5) le haga aumentar o disminuir su frecuencia. Como en la AM, la portadora (Figura 1.5) se está irradiando continuamente por la antena, en los silencios la portadora saldrá con la frecuencia del oscilador, cuando el dispositivo de sonido capte una señal, ésta modulará la portadora haciéndole variar su frecuencia (Figura 1.6).

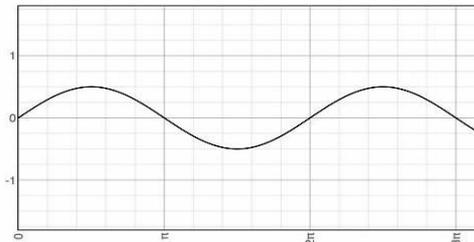


Figura 1.5. Señal Moduladora (Datos)

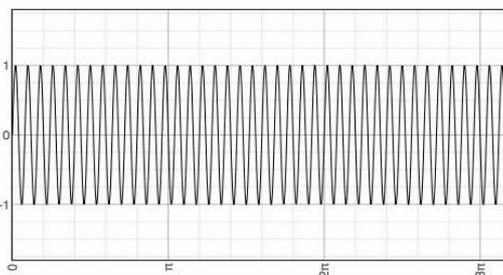


Figura 1.6. Señal Portadora

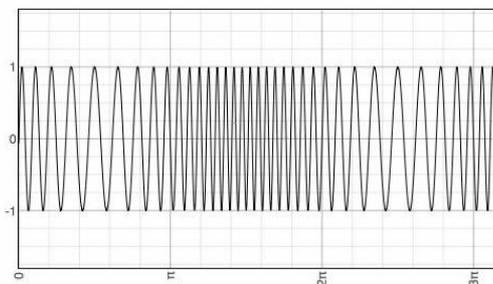


Figura 1.7. Señal Modulada

Es así como, la modulación en frecuencia permite variar la frecuencia de la portadora proporcionalmente a la frecuencia de la onda moduladora, permaneciendo constante su amplitud.

Al contrario de la AM, la FM crea un conjunto de bandas laterales cuya extensión depende de la amplitud de la onda moduladora. Por ello, el ancho de banda de un canal de FM es mayor. Desde un punto de vista práctico, se puede saber hasta dónde llegan las componentes importantes, la regla de Carson dice que el ancho de banda de FM es el doble del de la señal moduladora.

La propagación de FM en la banda de VHF (30 - 300 MHz) se realiza por medio de ondas directas, que se caracterizan por su direccionalidad y su limitada cobertura. Esto provoca que las señales de FM puedan ser fácilmente absorbidas por los obstáculos que encuentran en su trayectoria y que solo se emplee como servicio de radio local principalmente, ya que para incrementar su cobertura se necesitarían repetidores, lo que equivale a una mayor inversión.

Una señal modulada en FM puede ser usada para transportar una señal estereofónica, esto se logra mediante una multiplexación de los canales izquierdo y derecho de la señal estéreo antes del proceso de modulación. En el receptor se lleva a cabo la demultiplexación después de la demodulación de la señal FM.

CAPÍTULO 2

Sistemas de radiodifusión sonora digital

2. Sistemas de Radiodifusión Sonora Digital

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

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

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

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

2.1. Sistema Digital Audio Broadcasting (DAB) Eureka 147

2.1.1. Descripción General

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.2.1. AM-IBOC [4]

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

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

2.2.1.1. Capas AM-IBOC[4]

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

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

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

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

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

2.2.2. Modo Híbrido [4]

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

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

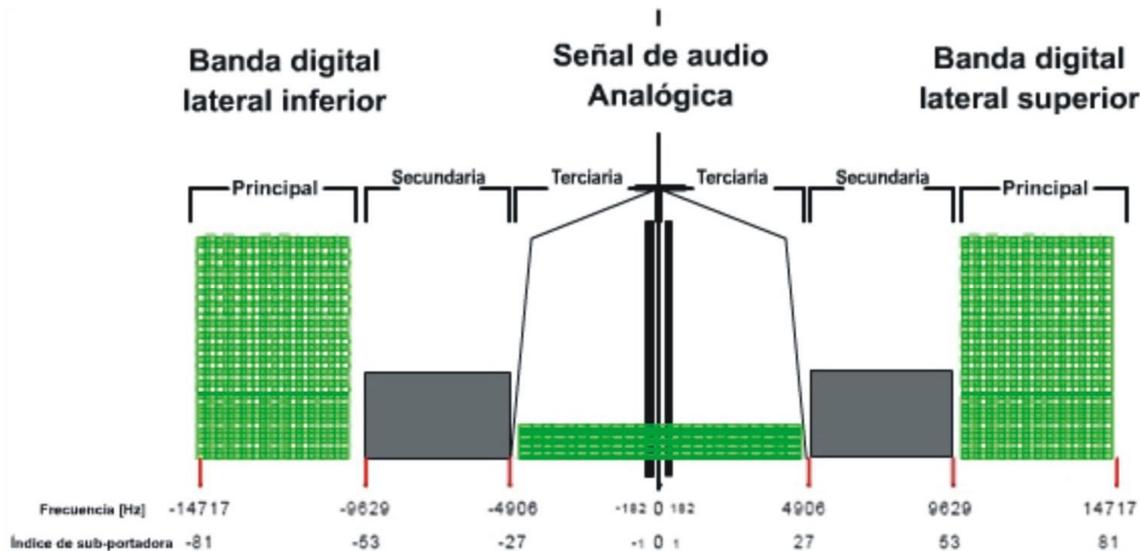


Fig. 2.2. Espectro de la forma de onda híbrida AM-IBOC.

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

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

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

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

2.2.3. Modo Solo-Digital [4]

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

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

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

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

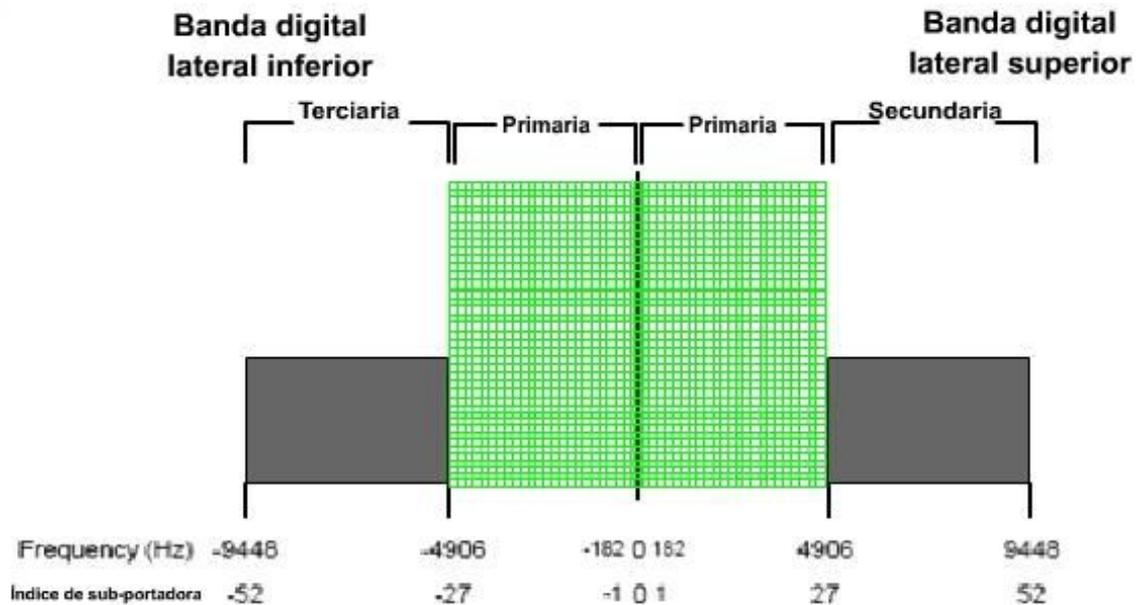


Fig. 2.3. Espectro de la señal solo-digital AM-IBOC

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

Tabla 2.2 – Características de la forma de onda totalmente Digital

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

2.2.4. Canales Definidos en el Sistema

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.3. Digital Radio Mondiale

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

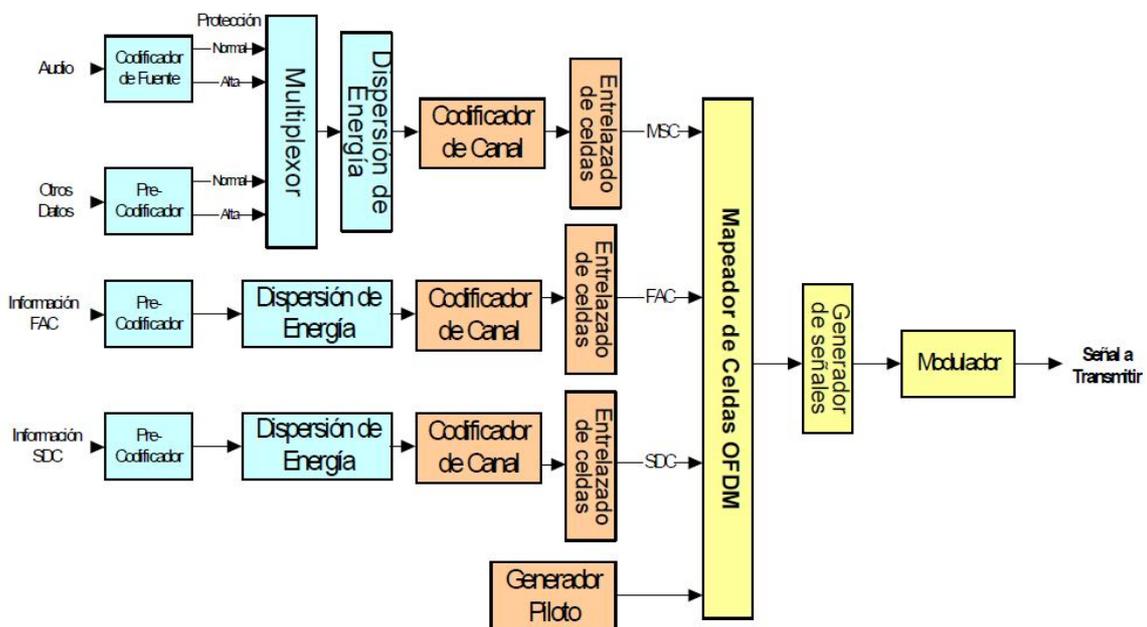


Figura 2.6. Diagrama de bloques del Sistema DRM [6]

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

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

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

2.3.1. Codificador y Características de la Señal

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

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

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

2.4. Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

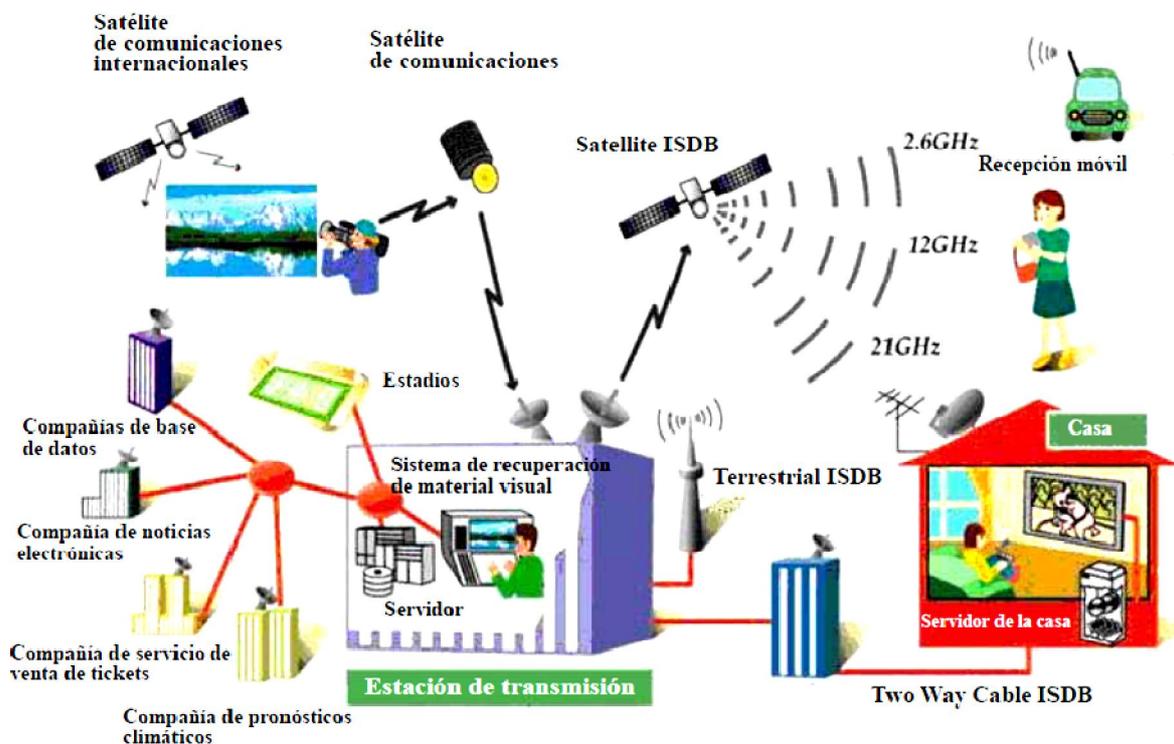


Figura 2.7. Sistema General ISDB

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

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

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

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

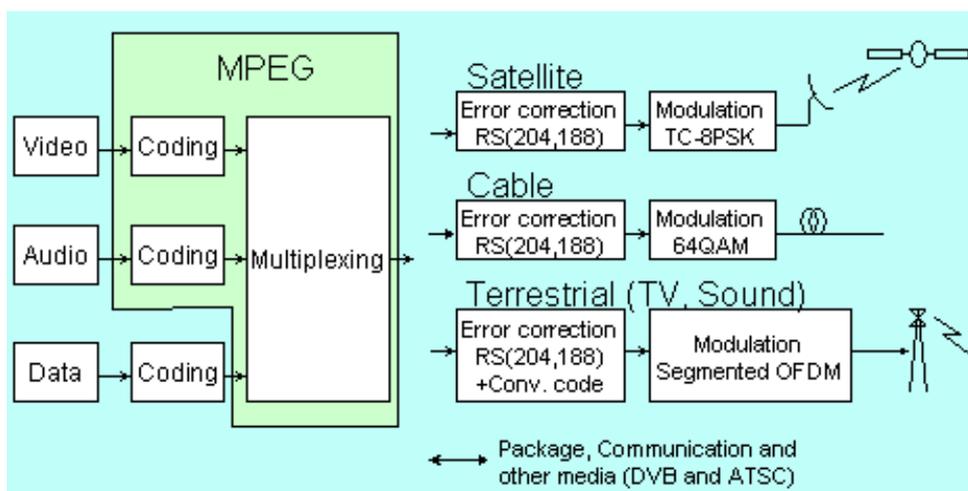


Figura 2.8. Tipos de Modulación de los canales de ISDB

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

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

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

2.5. Sistemas de Radiodifusión Digital por Satélite

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

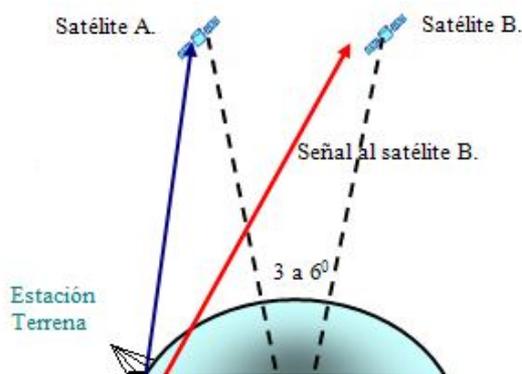


Figura 2.9. Sistema DARS

2.5.2. XM Radio Satélite

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

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

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

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

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

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



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

2.5.3. Sirius Radio Satellite [8]

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

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

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

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

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

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

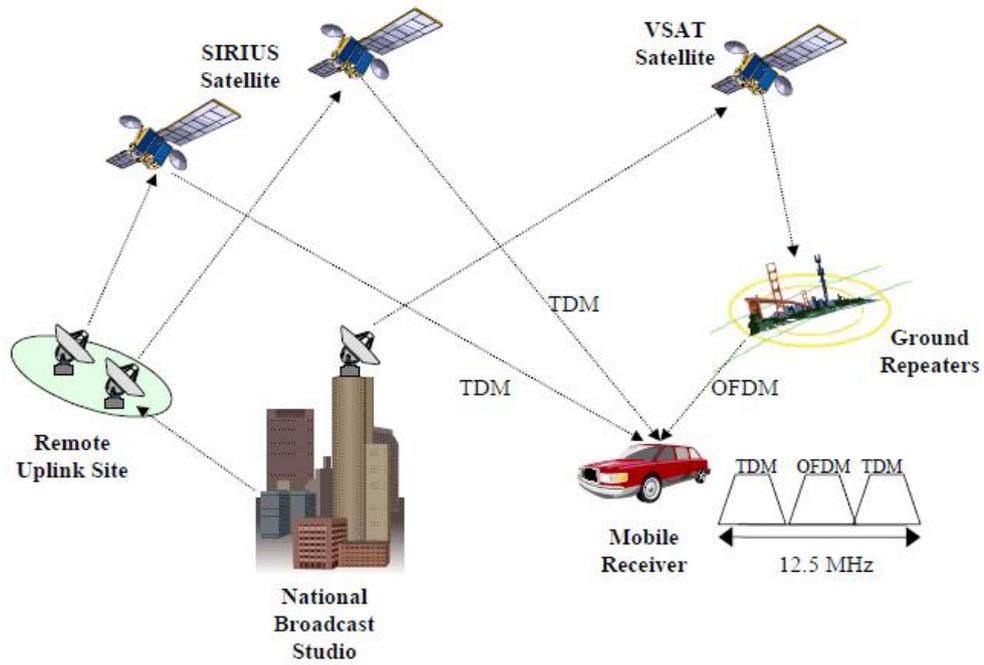


Figura 2.11. Esquema del sistema Sirius [8]

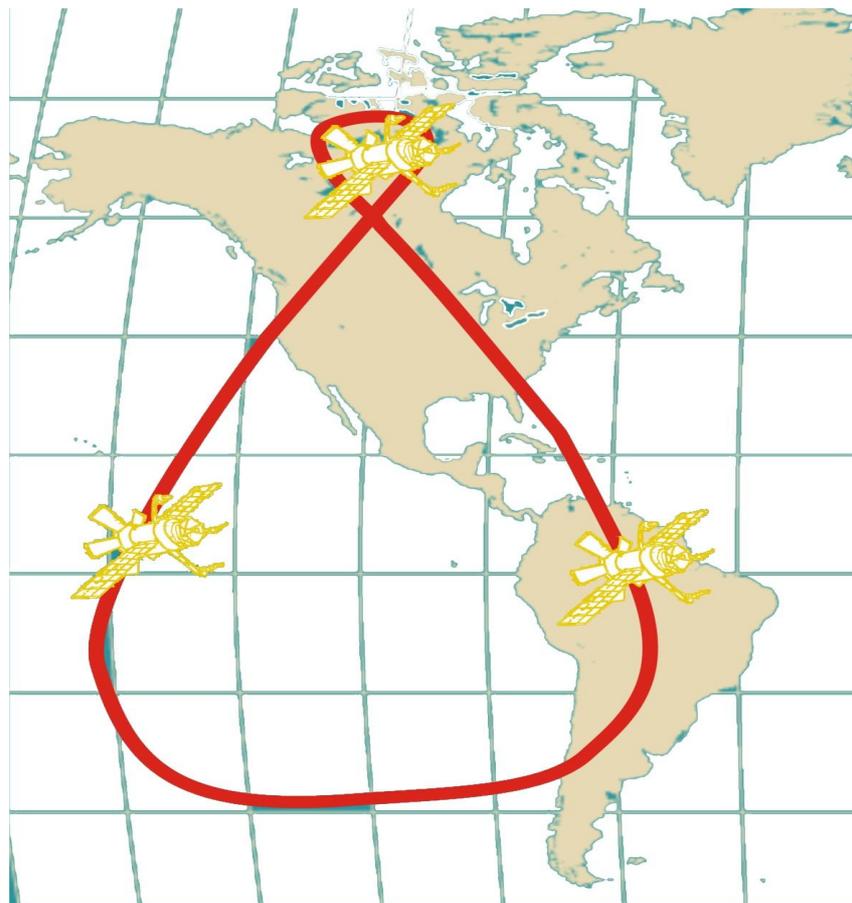


Fig.2.12. Órbita de los satélites de Sirius[8]

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

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

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

2.5.4. WorldSpace [8]

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

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

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

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

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

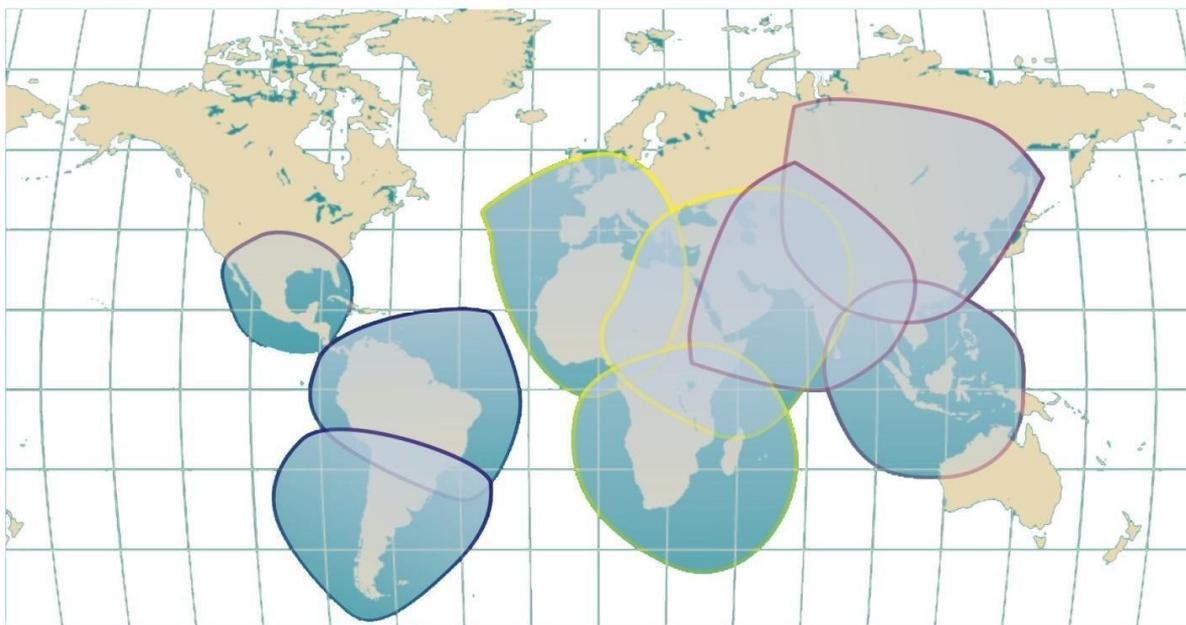


Fig. 2.13. Área de cobertura de los satélites de WorldSpace.[8]

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

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

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

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

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

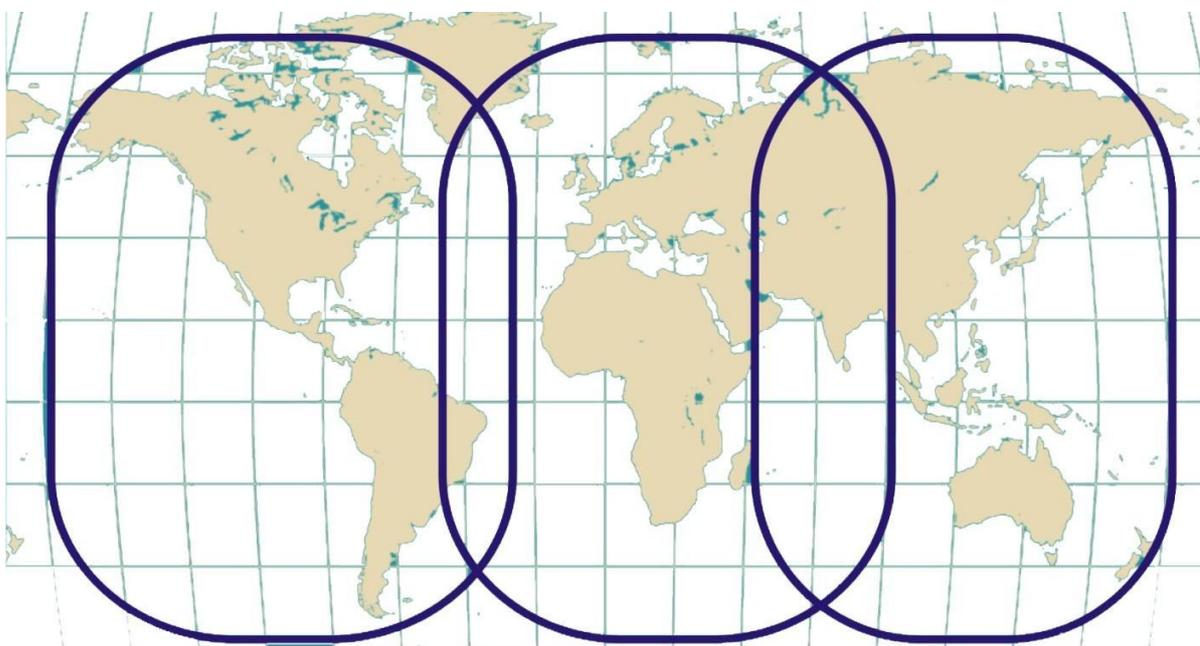


Fig. 2.14. Huellas de Up-Link de los satélites de WorldSpace.[8]

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

2.6. Desarrollo de los Sistemas en el Mundo

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

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

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

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

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

2.6.1. Situación del Sistema EUREKA

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

Tabla 2.1. Sistema Eureka en Europa

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

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

Fuente: World DAB forum

OP: Operación

EST: Estudio

EXP: Experimentación

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

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

Tabla 2.2. Sistema Eureka en Asia

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

Fuente: World DAB forum

OP: Operación

EST: Estudio

EXP: Experimentación

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

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

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

Tabla 2.3. Sistema Eureka en África y Oceanía

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

Fuente: World DAB forum

OP: Operación

EST: Estudio

EXP: Experimentación

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

Tabla 2.4. Sistema Eureka en América

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

Fuente: World DAT forum

OP: Operación

EST: Estudio

EXP: Experimentación

CAPÍTULO 3

SiStema dab eureka 147

3. Sistema DAB Eureka 147

La radio digital es la transmisión y recepción de sonido, el cual ha sido procesado utilizando una tecnología comparable a los aparatos reproductores de discos compactos. La técnica utilizada es el sistema DAB. Éste omite todos los sonidos no perceptibles por el oído humano, transmitiendo una cantidad de datos en relación de 1 a 7 de todos aquellos que pueden ser transmitidos en comparación con la señal original sin ninguna pérdida de calidad.

El Sistema DAB proporciona radiodifusión digital multiservicio de alta calidad, destinada a receptores móviles, portátiles y fijos, tanto para la radiodifusión terrenal como para radiodifusión por satélite. Es un sistema flexible que permite una amplia gama de opciones de codificación de los programas, de los datos asociados a los programas radiofónicos y de los servicios de datos adicionales.

El DAB es un sistema muy robusto diseñado para receptores tanto domésticos como portátiles y, especialmente, para la recepción en móviles; para la difusión por satélite y para la difusión terrenal y que, además del audio, nos permite introducir datos. Esta tecnología no tiene los problemas de la FM cuando se reciben muchas señales de diferentes puntos: del propio transmisor y otras reflexiones, dispersiones y difracciones que varían con el tiempo. Lo que se consigue con el sistema DAB es que la mayor parte de las señales que entran en el receptor se sumen, es decir, que contribuyan positivamente a la recepción [9].

3.1. Características Técnicas de Funcionamiento del Sistema DAB Eureka 147

La técnica DAB permite introducir muchos canales en el espectro, y con ello muchos programas, es decir, prácticamente se multiplica la capacidad de programas utilizando el mismo espectro. Además, el sistema permite emitir un gran número de programas por múltiplex, dependiendo de la calidad que se requiera.

A continuación se dará una explicación más detallada y técnica de ciertos parámetros de este nuevo sistema.

3.1.1. Forma de Difusión de DAB [9]

Técnicamente esta forma de difusión se configura en bloques, que contienen varios canales estéreo y múltiples servicios, con un ancho de

banda inferior a 1,5Mhz que se puede dividir en varias portadoras de señal (ahora la FM tiene sólo una).

La señal es comprimida (se filtra para transmitir sólo lo que el oído humano es capaz de percibir, con lo que se reduce 7 veces la cantidad de información a transmitir); también es codificada, y se hace por medio de un sistema Musicam-mpg con un bit rate (volumen de bits por segundo transmitidos) de 192 kbps, que proporciona una calidad similar a un cd.

En lo referente a poder convertir la radio en un medio multimedia se ha tomado como punto de referencia el Multimedia Object Transfer Protocol (MOT). Este sistema permite la emisión de datos generales (MIME/http), imágenes (JPG, GIF, JFIF y BMP), texto (txt, html), multimedia (MPEG o Java) así como numerosos archivos generales. A parte, en los receptores DAB se puede ofrecer software (programas), juegos, guía electrónica, etc.

Según la norma ETS 300 401 se definen tres mecanismos para transmitir datos, que a la postre son los que diferencian la radio digital de la tradicional frecuencia modulada, y son:

1. **PAD**; (datos asociados al programa). Se extraen de la trama Musicam (sistema que transmite a 192Kbps y da calidad similar a cd en emisiones) en el decodificador.
2. **DSL** (Dinamic Label Segment). Se utiliza para la información anexa al audio que irá en formato ASCII.
3. **NPAD**; datos no asociados al programa. Se pueden enviar como un paquete de información independiente.

3.1.2. Generación de la Señal DAB

Cada señal del servicio se cifra individualmente, se interpola en el codificador del canal, posteriormente los servicios se multiplexan en el canal principal del servicio (MSC), según una configuración predeterminada, pero ajustable. La salida del multiplexor se combina con la información múltiplex del control y de servicio, que viajan en el canal de información rápido (FIC), para formar los marcos de transmisión en la transmisión Multiplexer. Finalmente se aplica la modulación (OFDM) para formar la señal que consiste en una gran cantidad de portadores. La señal se transporta, se amplifica y se transmite. La figura 3.1 muestra el diagrama a bloques de un generador de señal DAB.

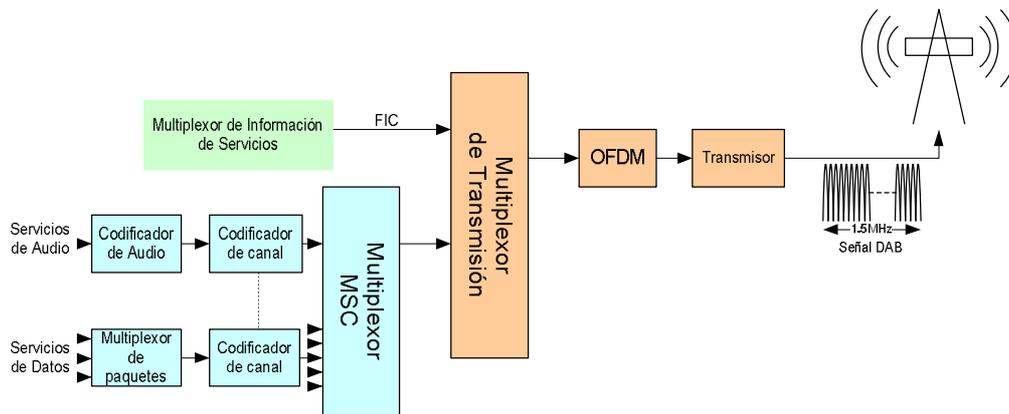


Fig.3.1. Diagrama descriptivo del proceso de generación de la señal DAB [11]

Cada una de las señales es codificada individualmente en una fuente de nivel, protegida de errores y en el codificador de canal. Después los servicios son multiplexados en el Canal Principal de Servicio (MSC, Main Service Channel), de acuerdo a una predeterminada, pero ajustable, configuración múltiplex. La salida del multiplexor es combinada con información de control y servicio, la cual viaja en el Fast Information Channel (FIC), formando los frames de transmisión en el multiplexor de transmisión.

Finalmente, la Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM) es aplicada para formar la señal DAB, la cual consiste de un gran número de portadoras. La señal es entonces transportada a la banda de radiofrecuencia apropiada, amplificada y transmitida.

3.1.3. Implementación de una Red Terrestre DAB

En la figura 3.2 se muestra el diagrama a bloques de una red de distribución DAB.

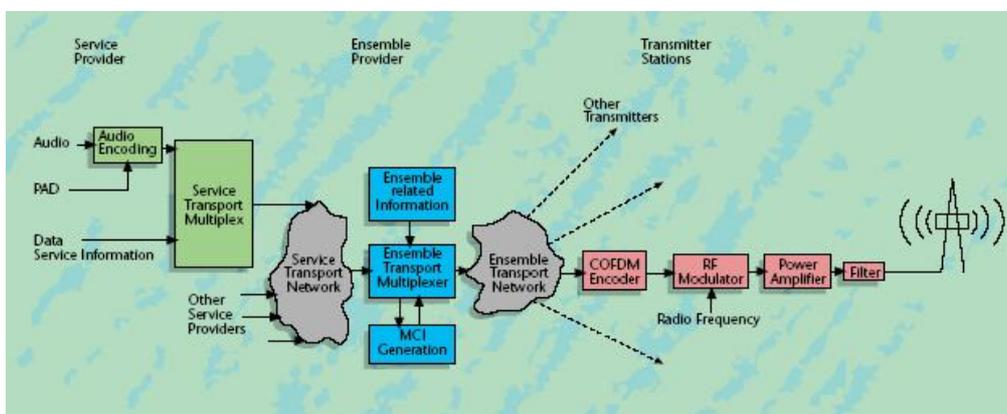


Fig. 3.2. Generación de una señal DAB [11]

El proveedor del servicio crea y lleva los datos que vienen de un servicio a un conjunto DAB. Estos datos son pasados al conjunto proveedor por vía de la red de transporte del servicio. Típicamente la información será recibida desde diferentes proveedores del servicio. Esta información será entonces reunida en una salida de datos representando el conjunto DAB completo, el cual es pasado a la estación transmisora donde el conjunto DAB es generado y radiado. La interface entre el Conjunto del Proveedor y la Red de Transmisión es conocida como ETI (Ensemble Transport interfase). Esta permite la eficiente distribución de las señales provenientes del Multiplexor del Conjunto DAB hacia el COFDM generador de la Red de Transmisión, por ejemplo, la Red de Frecuencia Única (Single Frequency Network).

3.2. Recepción de la Señal DAB

Se selecciona en el sintonizador análogo, la salida convertida a digital del cual se alimenta el demodulador de OFDM y decodificador del canal para eliminar errores de la transmisión. La información contenida en el FIC se pasa al interfaz utilizado para la selección del servicio y se utiliza para fijar el receptor apropiadamente. Los datos del MSC se procesan más a fondo en un decodificador audio para producir las señales audio izquierdas y derechas o en un decodificador de los datos (paquete Demux)

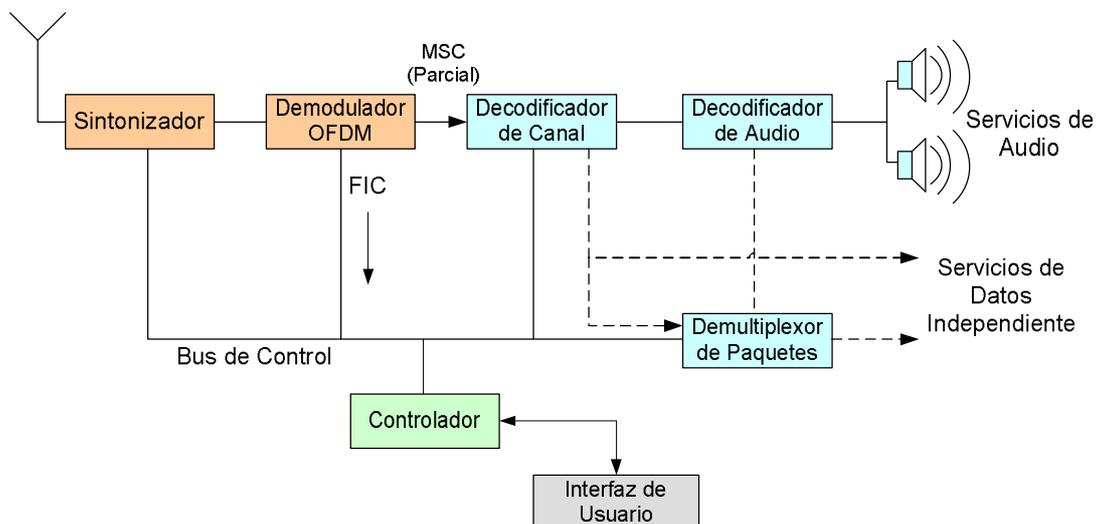


Figura. 3.3. Recepción de una señal DAB [11]

La figura 3.3 muestra el diagrama a bloques de un receptor DAB. El conjunto DAB de señales es seleccionado en el sintonizador analógico, la salida digitalizada es alimentada al demodulador OFDM y al decodificador de canal para eliminar los errores de transmisión. La información contenida en el FIC es pasada a la interface de usuario para la selección del servicio y es usada para establecer el receptor apropiadamente. El MSC de datos

es nuevamente procesado en un decodificador de audio para producir las señales de audio izquierda y derecha o en un decodificador de datos (Packet Demux) como es apropiado.

3.2.1. El receptor DAB

Como es de suponer la radio digital no podremos sintonizarla en los aparatos que tenemos en la actualidad. El receptor DAB, según el estándar Europeo, debe poder trabajar en frecuencias que vayan desde los 174Mhz a los 240Mhz (en banda III) y entre 1452Mhz y 1492Mhz (en banda L). Deberá contar con una salida de audio y según los modelos y necesidades con salida para datos. Deberá ser capaz de detectar el modo de transmisión y conmutar al modo de recepción correspondiente. El codificador utilizará una frecuencia de muestreo de 24 a 48 KHz y tendrá que ser capaz de conmutar entre las distintas tramas de datos cuando sea necesario (según los datos que se quieran recibir o si nos estamos desplazando). Debe ser capaz de decodificar un programa de audio estéreo con una tasa binaria de 256Kbit/seg. En caso de servicio cifrado (de pago) el receptor deberá informar al usuario-usuario de este servicio. Es recomendable que tenga un display de 8 caracteres alfanuméricos (letras y cifras) como mínimo, que informen del servicio prestado, tipo de programa, trama y segmento seleccionado.

Hay tres tipos de receptores (clasificados según el tipo de recepción para la cual se diseñen).

- **Fijo, para casa.** Aquí entran receptores Hi-Fi (con display-pantalla) para manejar los datos de los servicios asociados que apuntábamos al principio) y tarjetas DAB para ordenadores.
- **Portátil.** El típico, de momento sólo transmiten audio aunque ya están empezando a aparecer algunos multimedia (que consumen mucha batería)
- **Móvil para los coches.** Como estos receptores son bastante caros una empresa inglesa (Radioscope) ya ha preparado un sistema de recepción a través del ordenador por medio de un programa decodificador de la señal DAB procedente de una antena normal VHF; pudiendo obtener sonido, texto e imágenes cada diez segundos y todo ello a tiempo real.

Es probable que en los nuevos receptores se incluyan FM, AM y DAB a la vez.

Actualmente existen en el mercado varios modelos de receptores aunque no es fácil encontrarlos debido a la poca información que existe sobre este

nuevo sistema de transmisión digital. Tanto a nivel gubernamental como a nivel comercial la información al ciudadano es más bien escasa y si preguntas en un comercio, te dirán que no tienen ninguno o que no saben nada del nuevo sistema.

3.3. Codificación de Audio

El codificador de audio utilizado principalmente es MUSICAM, el acrónimo proviene de "Masking pattern Universal Sub-band Integrated Coding And Multiplexing", que es la base de codificación especificada para MPEG-2. Esta técnica hace uso del conocimiento de las propiedades del oído humano, en particular, los efectos de enmascaramiento temporal y ancho espectral de percepción del oído interno. El sistema codifica solo las componentes de señal de audio que el oído percibirá mientras descarta la información de audio que el oído es incapaz de escuchar. Así, la capacidad la tasa de transferencia de bits se asigna solo a la codificación y transporte de la información que es importante para mantener una alta calidad subjetiva de audio. El principio del enmascaramiento de audio se muestra en la figura 3.4. [17]:

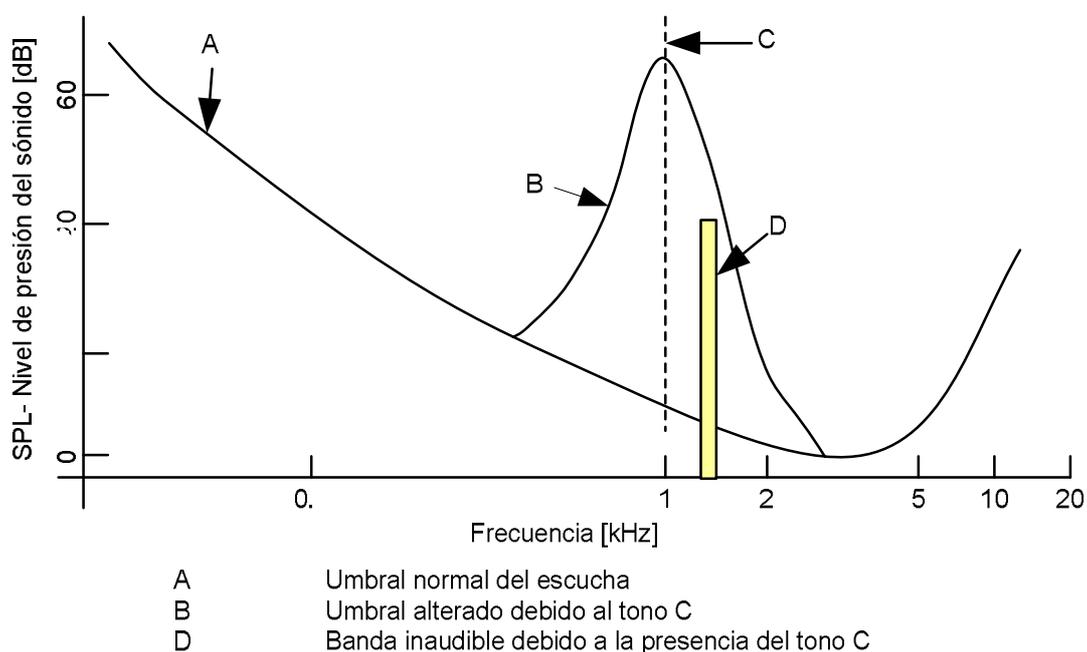


Fig. 3.4. Enmascaramiento de audio.

En la figura anterior, la componente de la señal a 1 [kHz] deforma y aumenta el umbral de enmascaramiento que define el nivel que otras componentes de la señal deben exceder para poder ser audibles. Si una

segunda componente de audio está presente al mismo tiempo y está cercana en frecuencia a la primera, esta segunda componente debe tener un nivel más alto para poder ser percibida por el oído, de forma que rebase el umbral modificado por la primera componente o, de otra forma, la segunda componente será enmascarada por la primera.

MUSICAM es un proceso de codificación de audio eficiente que puede reducir las señales de audio digitales a una de varias opciones posibles de codificación en el rango de 8 kbps a 384 kbps, a una frecuencia de muestreo de 48 [kHz] o, cuando un servicio puede tolerar una baja calidad de audio, 24 [kHz]. La calidad de audio proporcionada por el sistema, es subjetivamente percibida como calidad de CD utilizando tasas de transferencia de 192 kbps o mayores para dispositivos estéreo.

3.4. Codificación de transmisión (de canal) y multiplexión

Los datos para servicios individuales, ya sean basados en audio o multimedia, deben ser combinados en un sola secuencia de datos lista para la transmisión. Este proceso se conoce como multiplexión, y la secuencia de datos resultante es llamada múltiplex DAB. Dicho múltiplex DAB (en la figura 3.5 se muestra la estructura básica) comprende tres distintos elementos:

- El canal de sincronización, que transporta la frecuencia de referencia y la información de sincronización para permitir que los receptores se sincronicen y decodifiquen la señales DAB recibidas.
- El canal de información rápida (FIC), que lleva la información que describe la composición del múltiplex e informa a los receptores cómo extraer y decodificar la información para servicios individuales.
- El canal de servicio principal (MSC), que contiene los paquetes de datos o audio correspondientes a los diferentes servicios dentro del múltiplex. Esta parte del múltiplex es esencialmente la carga útil de la señal DAB.

Canal de Información Rápida: contiene principalmente la información de Configuración del Multiplex (MCI) e información de Servicio (SI)



Canal de Servicio Principal: contiene la información de los programas de servicio y datos asociados a los mismos. Servicios de anuncio, textos, etc

Fig. 3.5. Estructura básica de un frame DAB: "Múltiplex".

Posteriormente, al multiplex se aplica la codificación de canal con FEC, espaciamento en tiempo y frecuencia para aumentar la protección contra errores de bits.

El tamaño de la capacidad de datos de la señal DAB completa es aproximadamente 3 Mbps, de la cual el MSC ocupa aproximadamente 2.3 Mbps. Después de permitir la redundancia proporcionada por la codificación de canal, la carga útil neta es de 0.6-1.7 Mbps.

3.5. COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex) Codificado Multiplex por división de frecuencia ortogonal

Las condiciones atmosféricas pueden afectar la recepción de una señal análoga. Estas señales también pueden ser interrumpidas por cercanías de cerros y edificios altos. Este tipo de interferencia FM es llamada "multitrayecto" (multipath).

DAB evita este problema transmitiendo una serie de bits digitales, los cuales todavía pueden ser reconocidos incluso en presencia de interferencia. Tal interferencia es esencialmente ignorada por los equipos DAB con la ayuda de un sistema llamado **COFDM**.

Este sistema usa una relación precisa matemática que divide la señal de radio a lo largo de 1536 portadoras de frecuencias distintas al igual que el tiempo. Esto asegura que, aunque parte de la señal sea afectada por interferencia o la señal se pierde por un periodo corto, el receptor será

capaz de recuperar la fuente original y reconstruirla perfectamente. COFDM permite también que la misma frecuencia pueda ser utilizada en todo el país. Esto significa que no es necesario re-sintonizar la radio del auto cuando uno viaja de una ciudad a otra. Con DAB, la misma frecuencia en cada transmisor y en áreas donde exista traslape (overlapping), las señales fortalecen la señal recibida en el receptor. Esta es una forma inteligente de usar lo que previamente era considerado interferencia como una ventaja.

La duración del *símbolo OFDM DAB* está entre 156 y 1246 micro segundos. Estos valores salen de la estimación del tiempo de coherencia del canal: el intervalo de tiempo durante el cual la función de transferencia del canal puede ser considerada constante respecto el tiempo. Acostumbra a ser mayor que la duración de símbolo OFDM. El receptor mide ciertas portadoras de referencia del conjunto total de portadoras OFDM, las cuales están tan solo para poder medir la varianza temporal del canal.

La modulación COFDM necesita gran precisión de los osciladores base. De fallar éstos, el escalado sobre la frecuencia base lleva a no "enganchar" gran número de portadoras en recepción. Cuanto más rápido se trabaje, más se acusa la necesidad de disponer de una sincronización adecuada y más precisa para evitar ráfagas de errores o pérdida de relojes.

3.5.1. Portadoras COFDM

Las portadoras OFDM se acomodan en particiones de frecuencia. Cada una de estas particiones comprende 18 sub-portadoras de datos y una sub-portadora de referencia como se muestra en la figura 3.6.

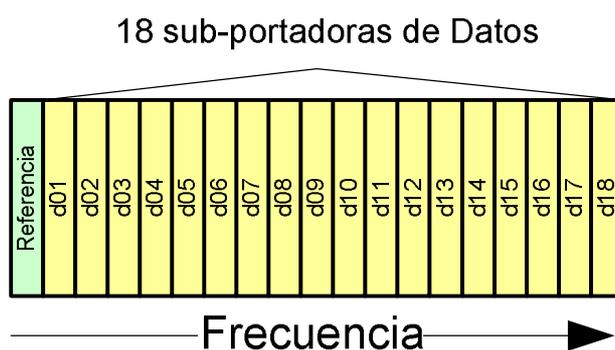


Fig. 3.6. Partición de frecuencia: arreglo de sub-portadoras con orden A

La posición de la sub-portadora de referencia varía con la posición de la partición de frecuencia dentro del espectro: bien al inicio (orden A) o al final de la partición (orden B).

Para cada partición de frecuencia, las sub-portadoras de datos d1 a d18 transportan datos de capa dos mientras que las sub-portadoras de referencia transportan el control del sistema. Las sub-portadoras están numeradas desde 0 en la frecuencia central hasta ± 546 en cualquier extremo del canal de alojamiento de frecuencias.

Además de las sub-portadoras dentro de cada partición de frecuencias, dependiendo del modo de servicio, pueden insertarse hasta cinco sub-portadoras de referencia adicionales en las posiciones -546, -279, 0, 279 y 546 con el objetivo de tener una distribución regular de sub-portadoras de referencia dentro de todo el espectro. Por conveniencia de notación, a cada sub-portadora de referencia se asigna un número único de identificación entre 0 y 60. Todas las sub-portadoras de referencia, así como la relación entre los números de sub-portadoras de referencia y los números de las sub-portadoras OFDM, se muestran en la figura 3.7.

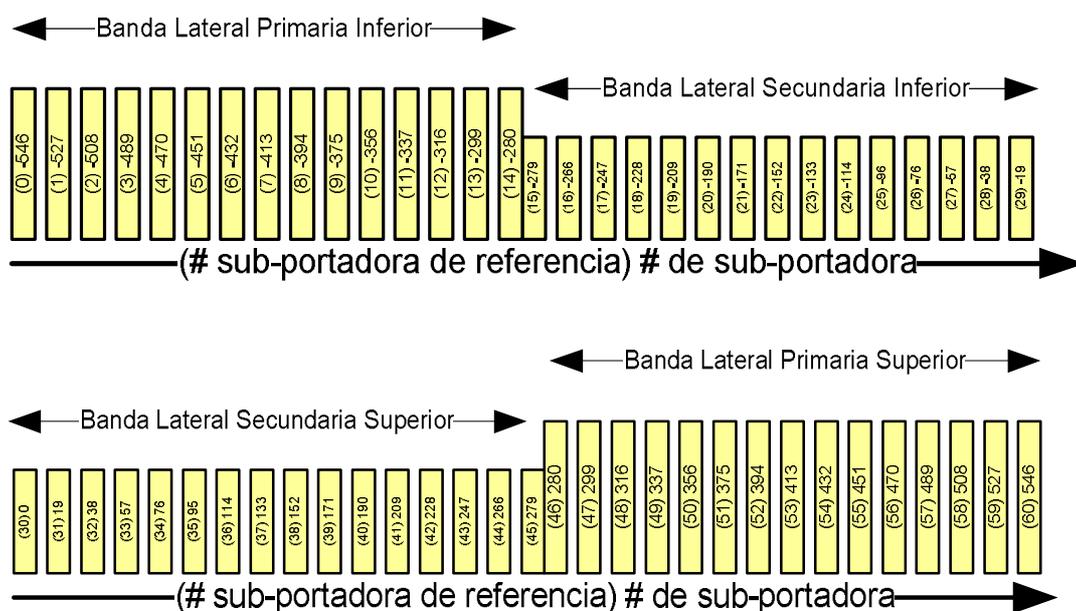


Fig. 3.7. Números de sub-portadoras de referencia

De igual forma, cabe mencionar que el sistema DAB define una serie de modos de transmisión para cada una de las bandas donde puede operar el sistema, con el fin de compensar la dispersión que tienen las señales para el servicio móvil; en este sentido, los modos, cuyo funcionamiento se puede consultar en el documento de la ETSI, (ETSI, 2006), se estructura en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Modos de Transmisión de DAB[10]

| Modos de Transmisión | Banda de Operación | Tipo de Servicio |
|----------------------|--|---|
| I | B I (47MHz. - 88MHz.) (VHF) B II (87.5MHz. - 108MHz.) (VHF) B III (174MHz. - 230MHz.) (VHF) | Terrestre en redes de frecuencia única (SFN por sus siglas en inglés). |
| II | B I (47MHz. - 88MHz.) (VHF) B II (87.5MHz. - 108MHz.) (VHF) B III (174MHz. - 230MHz.) (VHF) B IV (470MHz. - 582MHz.) (UHF) B V (585MHz. - 806 MHz) (UHF) B L (1452MHz. - 1492 MHz) | Terrestre; sin embargo, en la banda L está en capacidad de proveerlo satelitalmente y de forma híbrida satelital-terrestre. |
| III | Menor a 3000MHz. | Satelital, terrestre o híbrido satelital-terrestre. |
| IV | B I (47MHz. - 88MHz.) (VHF) B II (87.5MHz. - 108MHz.) (VHF) B III (174MHz. - 230MHz.) (VHF) B IV (470MHz. - 582MHz.) (UHF) B V (585MHz. - 806 MHz) (UHF) B L (1452MHz.- 1492 MHz) (UHF) | Terrestre; sin embargo, en la banda L está en capacidad de proveerlo satelitalmente y de forma híbrida satelital-terrestre. |

3.6. Protocolo MO (ROMOT) Rules of Operation for the Multimedia Object Transfer (Reglas de Operación del Objeto de Transferencia Multimedia)

MOT es un protocolo de transporte para la transmisión de contenido multimedia en canales de datos DAB a varios tipos de receptores con capacidades multimedia. El propósito es transmitir objetos de longitud finita de una fuente de información (un proveedor de contenidos o servicios) a un destino (un terminal).

Las ventajas del protocolo MOT son:

- No aplica restricciones al contenido que pueda ser transmitido.
- Tanto la segmentación como la transmisión de paquetes es transparente a la aplicación del usuario.
- El estándar MOT existente puede ser ampliado de manera que sea compatible con el anterior.

Hay que señalar que el protocolo MOT se ocupa del nivel de transporte y no del nivel de aplicación, aunque contiene información básica de la administración de objetos y de la presentación del contenido multimedia. Tampoco se ocupa del direccionamiento de los receptores ni del acceso condicional (CA).

El tamaño de los objetos que pueden ser transmitidos usando MOT está limitado por el tamaño máximo del cuerpo cuya limitación real es igual a 255 MBytes.

El tamaño de cualquier información que pudiera ser llevada en la cabecera está limitado por el tamaño del campo TamañoCabecera (HeaderSize) que va desde 1 Byte a 8 Kbytes.

Los métodos de transmisión DAB que puede utilizarse para transportar objetos MOT son el modo paquete y el PAD (Datos asociados al programa).

Para poder realizar las diferentes operaciones necesarias para transmitir un archivo o un conjunto de archivos (por ejemplo un directorio) en formato MOT sobre DAB se realiza lo siguiente:

1. El primer paso consiste en identificar el archivo y crear la cabecera MOT que contendrá tanto la identificación pura del fichero como la información adicional. El fichero o archivo está referido como el cuerpo MOT. Así pues obtenemos un objeto MOT como la cabecera más el cuerpo y ya está listo para la segmentación.
2. El segundo paso consiste en la segmentación. La estructura de datos que se usará por los mecanismos de transporte son los grupos de datos MSC (Canal de Servicio Principal). La cabecera MOT y el cuerpo son transportados en diferentes tipos de grupos MSC por lo que el cuerpo MOT será separado en segmentos de igual tamaño y el último tendrá los bytes restantes. El tamaño de los segmentos de la cabecera y el tamaño de los segmentos del cuerpo son independientes. Las consideraciones que se toman para realizar la segmentación son: proveer robustez a la transmisión, minimizar la cabecera y facilitar la administración de los segmentos en el decodificador de datos DAB. Este proceso se considera dentro del nivel de transporte. Después, en el nivel de red, se formarán paquetes de dos maneras diferentes: modo paquete (Packet Mode) o X-PAD, es decir, en grupos de datos X-PAD.

Los parámetros de la cabecera son:

- **La cabecera básica** (cualquier objeto debe tenerlos como mínimo) contiene importante información sobre el cuerpo, así pues los campos TipoContenido y SubTipoContenido especifican el tipo exacto de información que lleva el cuerpo (Texto, Imagen, Audio,

Vídeo, Transporte MOT, Sistema, Datos generales o Tabla propietaria); la cabecera básica se complementa con los campos TamañoCuerpo y TamañoCabecera.

- **La cabecera de extensión** consiste en una serie de parámetros ParamId, indicación del tamaño (DataFieldLength) y el valor del campo (DataField). De los más significativos destacan el StartValidity y el ExpireTime cuyos valores indican al decodificador MOT a partir de qué momento podrá ser presentado un objeto MOT o invalidado respectivamente. Con el parámetro TriggerTime se especifica en qué momento exacto se debe mostrar el objeto después de la recepción.

El modelo de un decodificador MOT y sus interfaces son:

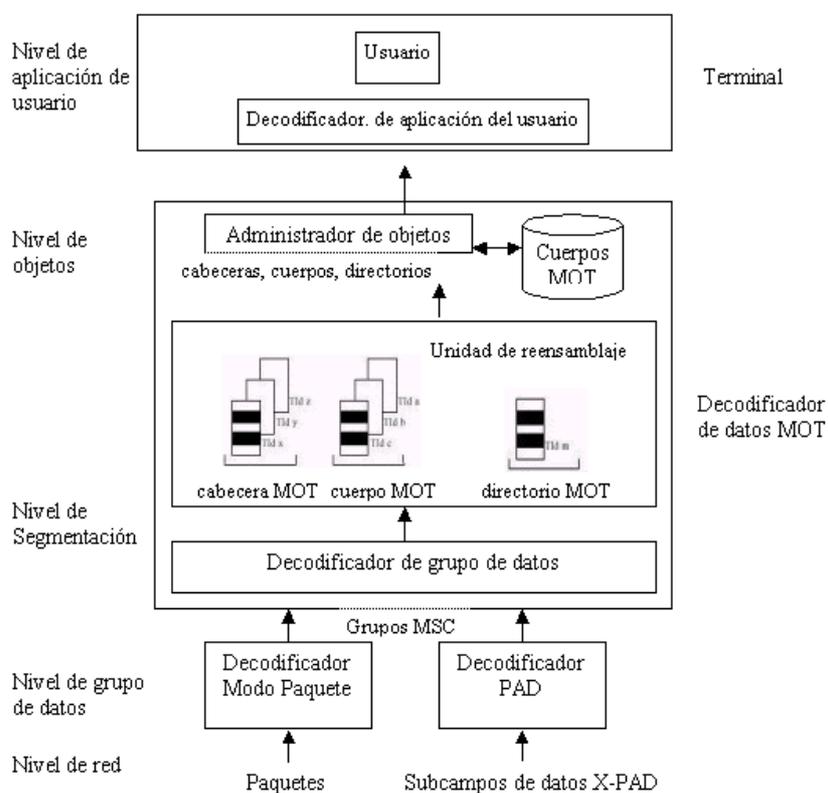


Fig. 3.7. Modelo de un codificador MOT

Lo que cada nivel realiza es lo siguiente [11]:

- **Nivel de red:** En el modo paquete, la dirección del paquete debe usarse para identificar el servicio en particular dentro del subcanal. La validación de cada paquete se verifica evaluando el CRC (Suma de comprobación) del paquete. En el modo X-PAD, el tamaño del grupo de datos MSC viene del indicador Tamaño (Length) del grupo

de datos inmediatamente precedido del comienzo del grupo de datos MOT.

- **Nivel de grupo de datos:** La validación de cada grupo de datos MSC se verifica evaluando su CRC. El campo de datos del grupo MSC contiene un segmento completo. El correspondiente número de segmento y el TransportId los aporta la cabecera de sesión del grupo de datos.
- **Nivel de segmentación y nivel de objetos:** Un decodificador de datos MOT está formado por dos partes: la unidad de reensamblaje que reensambla cabeceras, cuerpos y directorios MOT; y el administrador de objetos que controla a la unidad de reensamblaje, guardando los objetos recibidos y maneja las peticiones de la aplicación del usuario. Es necesario explicar los tipos de grupos: tipo 3 son de cabecera MOT, tipo 4 son los cuerpos MOT, tipo 5 son un cuerpo MOT y los parámetros CA, tipo 6 son directorios MOT y tipo 1 son mensajes CA. CA es el Acceso Condicional, es decir, servicios de pago.

Se describen, además, dos modos de operación para el decodificador: el modo cabecera MOT en donde son procesados tanto cabeceras como cuerpos, y el modo directorio MOT que procesa directorios y cuerpos. Si un flujo de datos contiene tanto cabeceras como directorios, el decodificador deberá trabajar en los dos modos. Tanto la unidad de reensamblaje como el administrador de objetos están en el mismo modo.

La unidad de reensamblaje continuamente evalúa los grupos de datos que llegan. Debe estar preparada para que muchos objetos se transmitan aplicando intervalos, por lo tanto se codifican casi en paralelo.

Esta unidad mantiene una lista con los TransportId de las cabeceras MOT que se envían al administrador de objetos para que sepa que el resto de cabeceras con el mismo TransportId sean descartadas. Si el administrador de objetos MOT quita una cabecera MOT de su memoria se lo dice a la unidad de reensamblaje. Entonces ésta eliminará este TransportId de su lista y continuará aceptando cabeceras MOT con sus TransportId.

El modo directorio MOT es similar al anterior. El reensamblaje de cuerpos MOT es independiente del modo en que esté la unidad de reensamblaje. Si el administrador pide un cuerpo, la unidad obtiene una petición, indicando que los cuerpos están siendo reensamblados. La petición incluirá el TransportId y el tamaño de los cuerpos y quizá

también el Tamaño/Segmento (si se da en un directorio MOT). La unidad de reensamblaje puede entonces asignar memoria para los cuerpos requeridos.

La unidad de administración almacena objetos y permite que la aplicación los pida, por ejemplo, a través de su Nombre/Contenido o por la etiqueta MOT. Intenta reducir el tiempo de acceso e incluye algunas estrategias de caché. Evalúa los parámetros MOT y hace que estos parámetros estén disponibles a la aplicación del usuario. Si un objeto expira debido al parámetro *ExpireTime*, se quita de la memoria y se advierte a la aplicación de esto.

- **Nivel de aplicación:** El nivel de aplicación pide objetos al decodificador MOT y los presenta. La especificación del nivel de aplicación de usuario no es parte de MOT.

3.6.1. Mecanismos de Transmisión [11]

Se definen los *Mecanismos de transmisión* para permitir al receptor recuperar grupos de datos perdidos y objetos para asegurar la recepción correcta, para ello se usan uno o más de los siguientes métodos: repetición en el nivel de grupo de datos, repetición en el nivel de objetos, retransmisión de objetos e inserción de cabeceras MOT.

Generalmente se utiliza un mecanismo para permitir la transmisión/recepción de objetos en paralelo, este mecanismo es el intercalado de objetos en el flujo MOT. Esta transmisión puede ser cíclica o no cíclica.

La transmisión no cíclica se usa cuando un objeto se necesita sólo durante un periodo de tiempo. El problema surge cuando se realiza esta transmisión con repeticiones y un receptor sintoniza después del inicio de esta transmisión ya que no podrá recibir los datos al no tener el inicio.

La transmisión cíclica evita el problema anterior ya que está orientada a las aplicaciones de usuario que necesitan tener objetos disponibles en el terminal durante mucho tiempo. Cada objeto se transmite muchas veces de manera cíclica con un periodo entre cada transmisión. Cuando se solicita un objeto MOT que no está en memoria, se espera al siguiente ciclo. Incluso dentro de un ciclo también se puede repetir el mismo objeto.

Los diferentes objetos en un flujo cíclico MOT son identificados por su Nombre/Contenido. Se recomienda transmitir los objetos más importantes con más frecuencia que el resto para mejorar el acceso al servicio.

Los mecanismos de transmisión MOT enumerados al inicio son:

- **Repetición en el nivel de grupo de datos MSC:** Los grupos de datos MSC contienen segmentos MOT que son transmitidos más de una vez con el mismo contenido de datos.
- **Repetición en el nivel de objetos:** Es más fiable que la anterior. El objeto se transmite más de una vez con el mismo TransportId, la misma segmentación y el mismo contenido en cabecera y cuerpo.
- **Retransmisión de objetos:** Un objeto conserva el mismo NombreContenido en todas las retransmisiones asignando un nuevo TransportId si cambia algún parámetro.
- **Inserción de cabeceras MOT:** Si hacemos transmisiones adicionales de la cabecera MOT junto a las repeticiones permitimos a los decodificadores que pierdan la cabecera y la parte inicial de un objeto empezar a recoger las subsecuentes partes del objeto.

CAPÍTULO 4

REGLAMENTACIÓN ACTUAL DE LA RADIODIFUSIÓN DIGITAL EN MÉXICO

4. Reglamentación Actual de la Radiodifusión Digital en México

El uso de frecuencias de radio con sistemas de transmisión analógicos, demandan de amplios anchos de banda y de altas potencias de transmisión, por lo que la disponibilidad técnica de frecuencias y canales dentro de las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico atribuido a los servicios de radio, se ve limitada y reducida para ofrecer mayores alternativas de programación al público radioescucha.

Por ello, ante el fenómeno mundial de la digitalización que se presentó a finales de la década de los noventa, México se insertó en la dinámica de la evolución tecnológica, a fin de encontrarse acorde con las tendencias internacionales, principalmente por lo que respecta a la optimización y uso adecuado del *espectro Radioeléctrico*.

4.1. Aspectos Reglamentarios y Legales

En México, los aspectos reglamentarios y legales de telecomunicaciones, están a cargo de 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 [12].

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.

Ante el avance tecnológico en la digitalización a nivel mundial, México estableció en 1999, el *Comité Consultivo de Tecnologías Digitales para la Radiodifusión (Comité)*, en el que de manera colegiada la autoridad y la industria, analizan y evalúan los procesos de desarrollo y transición que se han implementado en países como en los Estados Unidos, Canadá y Europa.

Como parte de las medidas adoptadas por el *Comité*, se emitieron *recomendaciones* que se encuentran reflejadas en acuerdos mediante los cuales se establecen los compromisos de concesionarios y permisionarios de transitar de las tecnologías analógicas a las digitales y se tienen establecidas las reservas de bandas de frecuencias.

Con dichos acuerdos, se ha permitido la realización de trabajos de operaciones experimentales, tanto para estaciones de televisión como de radio, con tecnología digital, a fin de evaluar en el campo las condiciones de propagación de las señales y la calidad de las mismas.

Adicionalmente, el Comité participó en diversas reuniones de la *Comisión de Estudios 6 del sector radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)*, lo cual permitió contar con la información técnica necesaria para evaluar el grado de desarrollo de los estándares digitales que se venían analizando en la UIT.

Con relación a la *transición de la radiodifusión sonora analógica a la digital*, la Comisión propició, a través de los trabajos que se realizan en el Comité, que se aprobaran los "*Lineamientos de principios para la elaboración de la política de radio digital*" y la creación de tres Sub-grupos de Trabajo (SGT) y un Grupo de Tarea (GT), a saber:

- **Sub-Grupo de Prospectiva de la Radio:** Analiza el modelo de prestación de servicios, estudia las alternativas para su evolución en términos de la convergencia y plantea escenarios para su desarrollo en México.
- **Sub-Grupo de Trabajo Técnico:** Da seguimiento a la evolución tecnológica de los estándares, incluyendo condiciones para su implementación y analiza la disponibilidad del espectro, así como la convivencia de señales, entre otros aspectos.
- **Sub-Grupo de Trabajo Jurídico:** Propone alternativas para la implementación en nuestro país de los diversos estándares disponibles.
- **Grupo de Tarea:** Se encarga de proponer alternativas para la frontera (particularmente en la frontera norte), ya que a la fecha, se han reportado tres casos de interferencias a estaciones mexicanas, provenientes de estaciones estadounidenses que utilizan el sistema IBOC.

Asimismo, los lineamientos aprobados por el Comité establecieron los principios que servirán de base para la elaboración de la política de radio digital, a saber:

- **Servicio Universal:** que implica la generación de condiciones para que la radio digital llegue a todo el país en forma gradual y progresiva.
- **Continuidad del servicio analógico:** con lo que se garantizará al público radioescucha, durante el periodo de transición a las tecnologías digitales, el servicio analógico.
- **Calidad:** con lo que se mejorará la calidad de las señales de radio transmitidas en forma analógica, para contar con una calidad de audio superior a la actualmente obtenida en FM.

- **Crecimiento de la industria:** se continuará con el impulso de la radio en México, reduciendo las diferencias, buscando igualar la calidad actual, entre la AM y la FM.
- **Nuevos servicios asociados y adicionales:** se impulsará su desarrollo, aprovechando las condiciones de movilidad, contenido y gratuidad de los servicios, así como la convergencia tecnológica.
- **Economías de escala:** se favorecerá su generación, a fin de que el precio de los receptores sea accesible al público radioescucha, para que se cuente con la diversidad de productos.
- **Seguridad jurídica:** se generarán las condiciones necesarias para la realización de las inversiones en un proceso de largo plazo, con claridad en las obligaciones y compromisos que se adquieran.
- **Uso racional y planificado del espectro radioeléctrico:** se deberá garantizar las condiciones de disponibilidad del espectro radioeléctrico necesario para la transición a la radio digital.
- **Instrumento dinámico:** se deberá conformar una política que sea ajustable conforme al avance del proceso, poniendo especial atención a la evolución tecnológica y de servicios que se lleva en otros países.

Con estos principios, el Comité considera que el establecimiento de una política para la radio digital permitirá, tanto la adopción de un estándar como su proceso de transición adecuado.

No obstante, los trabajos del Comité deberán continuar, tomando en cuenta que los procesos de maduración de las tecnologías y de su transición, en algunos países del mundo, llevan tiempos distintos a lo que se han presentado para el caso de la televisión digital.

La radio digital, producto del desarrollo de tecnologías digitales de transmisión y recepción de señales de radio, permitirá que:

- Las actuales transmisiones de la radio analógica mejoren la calidad de sus servicios en beneficio del público radioescucha;
- Al tiempo que permitirán un uso óptimo y eficiente del espectro radioeléctrico atribuido a este servicio;
- Así como que con menores consumos de energía eléctrica se tengan similares zonas de cobertura y, de manera indirecta, se generen nuevos empleos.

En este contexto, y tomando en consideración el sistema socio - económico del país, así como por las inversiones que representará, tanto para los radiodifusores como para el público radioescucha, se considera que el esquema que se debe proponer, deberá ser:

- ✓ En una **primera etapa**, voluntario y sujeto a un proceso de evaluación técnica, donde se deberá transmitir de manera simultánea en formato digital y analógico, a fin de analizar, además de la calidad del servicio, los efectos de economías de escala, que propicien, el que la población pueda tener la disponibilidad de equipos receptores a bajo costo, con opciones adicionales de programación, y
- ✓ En una **segunda etapa**, la posibilidad de que en el futuro inmediato, se pueda determinar el estándar digital que mejor satisfaga las necesidades de esta industria, de acuerdo con el desarrollo tecnológico, las economías de escala y acorde con la legislación aplicable en esta materia.

Así entonces, se vienen analizando las conveniencias e inconveniencias de la implementación en nuestro país de los siguientes estándares:

- ✓ *Eureka – 147*
- ✓ *IBOC (In Band On Channel)*
- ✓ *DRM (Digital Radio Mondiale)*

En este sentido, el Comité continuará sus actividades, para contar con la información suficiente y necesaria, que le permita llegar a contar con la información requerida a fin de estar en posibilidad de emitir la recomendación correspondiente, para la adopción de un estándar y de su política de transición, que mejor beneficie a la industria de la radio y al público radioescucha.

Lo anterior, dado que en el proceso de desarrollo en el que México se encuentra, sería precipitado adoptar un estándar de manera categórica, por lo que se requiere continuar con la realización de pruebas.

Es importante destacar que, con motivo de que en los *Estados Unidos* se ha venido implementando el uso del *sistema IBOC*, por licenciarios estadounidenses de la *frontera*, lo que ha originado que algunos concesionarios mexicanos hayan manifestado haber resentido *interferencias* dentro de sus áreas de cobertura, se requiere que ambas partes, analicen la protección entre sus servicios, con base en los acuerdos bilaterales vigentes.

4.1.1. 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 aún madura, también posee debilidades importantes que deben de ser tomadas en cuenta.

Desafortunadamente, existen estrictas limitantes sobre la potencia de transmisión a la que los radiodifusores pueden transmitir. Dicha limitación es necesaria debido a que la señal causaría demasiada interferencia en bandas de frecuencia adyacentes, limitante para la BER, cuya tasa disminuye al aumentar la potencia [13].

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 más 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 retraso que la digital, ya que es backup de ésta cuando la señal de recepción sea débil, por lo que el retraso será percibido tanto por los oyentes que tengan receptores digitales, como por aquellos que aún posean receptores analógicos [14].

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

La Figura 4.1, 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 4.1, en dos casos; países en pruebas y países en servicio.

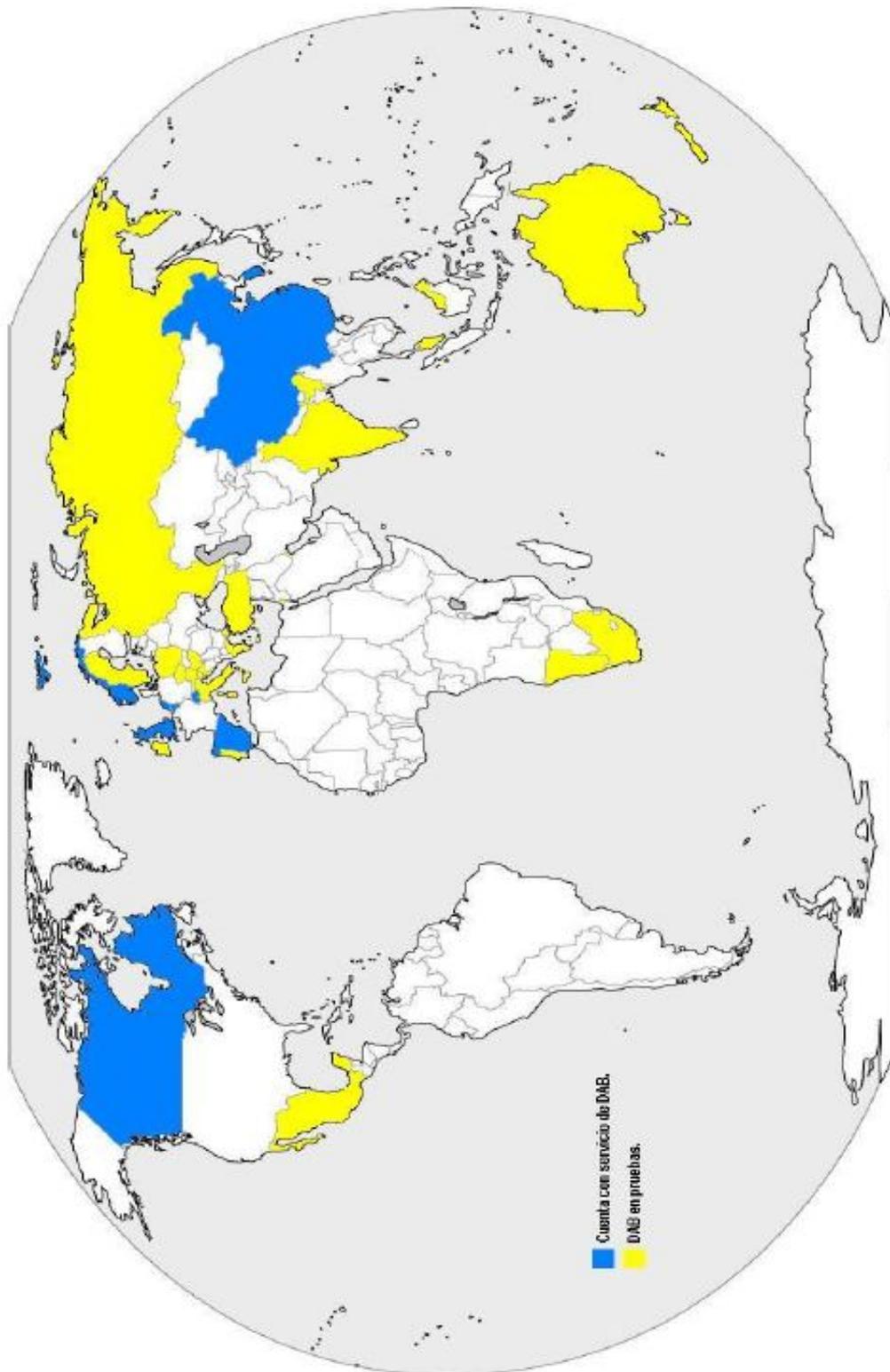


Fig. 4.1 Adopción del Estándar DAB a nivel mundial [15]

Tabla 4.1. Estado del Estándar DAB en diferentes países

| PAÍSES EN SERVICIO | PAÍSES EN PRUEBAS |
|--------------------|-------------------|
| Bélgica | Australia |
| Canadá | Austria |
| China | República Checa |
| Croacia | Estonia |
| Dinamarca | Francia |
| Mónaco | Grecia |
| Holanda | Hungría |
| Portugal | India |
| Singapur | Irlanda |
| Corea del Sur | Israel |
| España | Italia |
| Suecia | Malasia |
| Suiza | Malta |
| Reino Unido | México |
| | Namibia |
| | Nueva Zelanda |
| | Polonia |
| | Eslovenia |
| | Sudáfrica |
| | Rusia |
| | Taiwán |
| | Eslovaquia |

4.2. El marco Jurídico existente en México para regular la Radio Digital

Un dato que es importante considerar, es el relacionado al marco jurídico actual que pretende regular la radio digital en el país. En ese sentido, hay que recordar que el martes 11 de abril de 2006, se publicó en el Diario Oficial de la Federación, el Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley Federal de Telecomunicaciones y de la Ley Federal de Radio y Televisión. Con dicha reforma se incorporó el artículo tercer transitorio, el cual menciona al respecto lo siguiente:

“TERCERO.- Para llevar a cabo la introducción de nuevas tecnologías en materia de radiodifusión, la Comisión Federal de Telecomunicaciones, asignará temporalmente frecuencias adicionales al concesionario o permisionario, aún en una banda distinta de la originalmente concesionada o permisionada, que implique una mejoría técnica a fin de que la transición tecnológica no afecte la continuidad de los servicios de radiodifusión. La asignación de esta frecuencia operara como una adición al título de concesión o permiso.

Una vez que la Comisión, de conformidad con las políticas establecidas para la implementación de la radio y televisión digitales, determine en cada caso, que no es necesario continuar con las transmisiones analógicas por estar garantizado el servicio gratuito y su penetración en la mayoría de la población, señalará al concesionario o permisionario, la frecuencia que será reintegrada al término de las transmisiones simultáneas, y establecerá el plazo para tales efectos. La Comisión tomará en cuenta tanto la optimización del uso del espectro radioeléctrico, como la propuesta que, en su caso, presente el concesionario o permisionario, sobre la frecuencia a reintegrar.

Para la implementación de la política de radio digital, y a efecto de garantizar la evolución tecnológica de las estaciones concesionarias y permisionarias que operan en amplitud modulada (AM) y en frecuencia modulada (FM) la Comisión deberá definir y aprobar un estándar que les permita a las estaciones que operan en ambos cuadrantes actualizarse tecnológicamente” (Ley Federal de Radio y Televisión, 2006).

4.3. Requisitos Normativos para la Implantación de un Nuevo Sistema de Radiodifusión Digital

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 los 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 [16].

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 qué 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 [16].

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 cómo la legislación mexicana cuenta con una base sólida, construida desde el año de 1999, que pretende llevar una transición analógica – digital “sana”. El principal problema, es que desde el año 2000, 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.[16]

El 15 de septiembre de 2008 en el Diario Oficial de la Federación (DOF) se autorizaron un total de 289 cambios de frecuencias de AM a FM. Algunas solicitudes aún estaban pendientes y en tramites debido a que el plazo para presentar solicitudes de cambio de frecuencia en la Región IV aún no concluían. El 8 de octubre del 2010 la COFETEL aprobó 133 autorizaciones de cambio de frecuencias para la transición de AM a FM. Estas 133 concesionarias de estaciones de radiodifusión sonora se unen a las 30 previamente aprobadas, por lo que un total de 163 concesionarios y permisionarios de estaciones de radiodifusión sonora correspondientes a las regiones I, II y III, han sido ya autorizados a emprender su migración.

4.4. Recomendación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) sobre la Radiodifusión Sonora Digital

La Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT es una organización de las Naciones Unidas que simpatiza por el desarrollo y crecimiento de las redes de Información y Telecomunicaciones, y por garantizar el acceso y su uso en condiciones de equidad con el fin de cerrar la brecha digital. En este sentido la UIT definió tres sectores, Radiocomunicaciones (UIT-R), Normalización (UIT-T) y Desarrollo (UIT-D).

En el Sector de Radiocomunicaciones, la UIT da cubrimiento internacional a la gestión del espectro de radiofrecuencias y parámetros satelitales con el fin de que los servicios de telecomunicaciones no se interfieran entre sí; para esto, elabora normas que garantizan el uso eficiente de dichos recursos y desarrolla estudios para la implementación de sistemas de radiocomunicaciones.

En este sentido, el sector UIT en su capítulo de Radiocomunicaciones ha publicado el manual DSB (Digital Sound Broadcasting), que describe el sistema y los requisitos de servicio de la radiodifusión sonora digital. De igual forma, dentro de las publicaciones hechas por la UIT se encuentran recomendaciones relativas al servicio, entre las cuales se encuentran las siguientes:

1. Recomendaciones BS (servicio de radiodifusión sonora):
 - UIT-R BS.774-02 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.

- UIT-R BS.1114-6 sistemas de radiodifusión sonora digital terrenal para receptores en vehículos, portátiles y fijos en la gama de frecuencias 30MHz. - 3 000MHz.
- UIT-R BS.1348-1 requisitos de servicio de la radiodifusión sonora digital para frecuencias inferiores a 30MHz.
- UIT-R BS.1349 realización de la radiodifusión sonora digital para receptores instalados en vehículos, portátiles y fijos con transmisores terrenales en las bandas de ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas.
- UIT-R BS.1514-1 sistema para radiodifusión sonora digital en las bandas de radiodifusión por debajo de 30 MHz.
- UIT-R BS.1547 componente terrenal de los sistemas de radiodifusión sonora digital híbrida por satélite/terrenal para receptores instalados en vehículos, portátiles y fijos en la gama de frecuencias 1400MHz.- 2700MHz.
- UIT-R BS.1548-2 requisitos de usuario para sistemas de codificación audio en radiodifusión digital.
- UIT-R BS.1661 Especificaciones de señal en el aire del sistema digital descrito en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R BS.1514 para radiodifusión sonora digital en las bandas de radiodifusión por debajo de 30 MHz.
- UIT-R BS.1679 evaluación subjetiva de la calidad del sonido en aplicaciones de imágenes digitales en pantalla grande destinadas a la exhibición en grandes salas.
- UIT-R BS.1688 sistema de sonido en banda base y codificación de la fuente de audio en las interfaces de distribución de aplicaciones de generación digital de imágenes en pantalla gigante.

En respuesta al interés de las naciones por implementar la radiodifusión sonora digital, la UIT publica las recomendaciones BS.774 y BO.789 en el cual se establecen los requisitos de los sistemas de radiodifusión sonora - digital en aplicaciones terrestres y satelitales, teniendo en cuenta que actualmente existen limitaciones asociadas con los sistemas análogos, disminuyen la calidad del servicio de la recepción en los dispositivos móviles y portátiles; de acuerdo con la ocupación del espectro, se ha detectado aumento en el nivel de interferencias y existe un número limitado de programas que pueden ser transmitidos.

De acuerdo con las consideraciones de las recomendaciones, la evolución tecnológica posibilita que los medios provean un servicio de alta calidad para receptores móviles, portátiles y fijos, dado que dicha evolución en los sistemas de transmisión permite que la aplicación de las técnicas de codificación de canal, de modulación y de procesamiento de señales aumente la eficacia en el uso del espectro radioeléctrico y la potencia

requerida para prestar el servicio de radiodifusión sonora en las zonas de interés y contando con la viabilidad económica requerida para su implementación.

De acuerdo con esto, las recomendaciones BS.774 y BO.789 hacen mención a que los sistemas de radiodifusión sonora digital se integren teniendo en cuenta aspectos como la calidad de sonido, que debería ser estereofónico de dos o más canales, semejante a los medios digitales como la del disco compacto.

En cuanto al uso del recurso radioeléctrico, debe acoplarse por un uso más eficiente con respecto a los sistemas análogos convencionales en amplitud modulada y frecuencia modulada. De igual forma, los efectos asociados con la propagación de señales en condiciones tales como las de una ciudad, deben ser suprimidos con las técnicas de transmisión adecuadas para que la recepción del servicio tenga la calidad esperada [17].

Por otro lado, los sistemas de radiodifusión del servicio deben ser flexibles, de forma que provean facilidades para transmitir mayor número de programas en condiciones de calidad adecuadas, mediante la multiplexación de estos; de igual forma, el sistema debe permitir ofrecer servicios adicionales a los de audio tales como servicios de información, control de acceso, entre otros de valor agregado. Además, la implementación debe definir la estructura por capas de acuerdo con el modelo OSI, de forma que pueda interconectarse con redes de comunicación y otros sistemas abiertos; y en cuanto a los dispositivos receptores, su fabricación se deberá poder hacer a gran escala y soportar las aplicaciones del servicio terrestre y satelital [17].

Siguiendo las características que deberá tener un sistema de radiodifusión sonora digital, la recomendación UIT-R BS.1114-6 desarrolla tres ejemplos en los cuales describe el funcionamiento de tres sistemas sobre los siguientes componentes:

- Gama de calidad audio y tipos de recepción.
- Eficacia espectral superior a la de FM.
- Comportamiento en entornos obstaculizados de propagación multitrayecto.
- Procesamiento de la señal en el receptor común para el servicio de radiodifusión terrestre y satelital.
- Reconfiguración y calidad en función del número de programas.
- Amplitud de la cobertura en función del número de programas.
- Receptor común para las distintas formas de distribución, terrestres, híbridos (terrestre y satelital) y por cable.

- Capacidad de datos asociados al programa (PAD).
- Asignación flexible de servicios.
- Compatibilidad de la estructura del multiplexor con el modelo de interconexión de sistemas abiertos.
- Capacidad de datos de valor agregado.
- Fabricación a bajo coste de dispositivos receptores.

CAPÍTULO 5

EXPECTATIVAS DE LA IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA DAB EUREKA 147 EN MÉXICO

5. Expectativas de la Implantación del Sistema DAB Eureka 147 en México

Desde mediados de la década de los 90, en México comenzaron a introducirse timidamente ciertos cambios tecnológicos que afectaban, sobre todo, a la configuración de los estudios radiofónicos y al cambio paulatino de las consolas de producción que se preparaban para un cambio futuro en el tratamiento de la señal sonora, la señal digital.

5.1. Pruebas Iniciales del Sistema DAB Eureka 147

De esta manera tenemos que, la radio digital es la transmisión y recepción de sonido, el cual ha sido procesado utilizando una tecnología comparable a los aparatos reproductores de discos compactos. La técnica utilizada es el sistema DAB1. Éste omite todos los sonidos no perceptibles por el oído humano, transmitiendo una cantidad de datos en relación de 1 a 7 de todos aquellos que pueden ser transmitidos en comparación con la señal original sin ninguna pérdida de calidad. Lo que actualmente se conoce como estándar europeo DAB (*Digital Audio Broadcasting*) es el sistema de radiodifusión digital desarrollado por el proyecto Eureka 147 de la Unión Europea impulsado por la UER (Unión Europea de Radiodifusión). El objetivo era especificar un sistema de radiodifusión digital válido para comunicaciones terrestres y por satélite. El nivel de desarrollo de la radio digital en nuestro país y en el mundo se da cuando los primeros servicios de DAB se inician el septiembre de 1995 en el Reino Unido por la BBC y en Suecia por la Swedish Broadcasting Corporation (Corporación de Radiodifusión de Suecia).

En México, durante el sexenio 1989-1994 se da un gran impulso a las nuevas tecnologías en radio y televisión. El gobierno emite diversas disposiciones jurídicas para facilitar el acceso de las empresas mexicanas a los más recientes avances tecnológicos en esta materia. La estereofonía en AM, el uso de "subportadoras múltiplex" en FM, la radio digital por suscripción, y la Radiodifusión Sonora Digital, son algunas de esas tecnologías. En noviembre de 1991 comienza sus transmisiones Multiradio Digital, primer sistema de radio digital por suscripción que opera en México. Multiradio Digital es una empresa filial de la televisora de paga Multivisión. En este servicio el abonado recibe en su casa, a través de una antena y un decodificador suministrados por la empresa, señales de radio con calidad digital, esto es con un sonido similar al disco compacto. Ofrece 20 canales de audio con música continua y sin locución. Cada canal se especializa en un tipo de música: rock, country, música clásica, jazz, boleros, salsa,

etcétera. Aunque Multiradio Digital opera inicialmente sólo en el Distrito Federal, se extiende en 1992 a Monterrey y en 1993 a Guadalajara. [19]

En la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones celebrada en 1992 en Málaga-Torremolinos, España --conocida como CAMR-92--, en la cual, como ya se indicó, la UIT determinó asignar el segmento de 1452 a 1492 MHz --que forma parte de la llamada Banda L-- para las transmisiones de DAB, la delegación de Estados Unidos expresó un total desacuerdo con la decisión y manifestó que, a su juicio, el segmento más adecuado para la prestación de ese servicio sería el de 2310 a 2360 MHz. La causa del desacuerdo estadounidense fue que el sistema de defensa militar estadounidense a través de las telecomunicaciones se ubica precisamente en la Banda L, por lo cual costaría mucho trabajo a ese país desplazar tan compleja red de sistemas a otra región del espectro radioeléctrico para colocar en su lugar las transmisiones de radio digital. De ahí que en la propia CAMR-92 la delegación de Estados Unidos solicitó formalmente que se le permitiera utilizar el segmento de 2310 a 2360 MHz para el servicio de DAB. [19]

Cuando empiezan a conocerse las primeras noticias sobre la radiodifusión sonora digital, los radiodifusores mexicanos agrupados en la Cámara Nacional de la Industria de Radio y televisión (CIRT), se entusiasman por las posibilidades de esta tecnología que ha llegado a denominarse "la radio del futuro". En especial sienten atracción por el sistema Eureka 147, al grado de que en 1992, la CIRT inicia un estrecho acercamiento con ese consorcio europeo e incluso solicita su ingreso a él como "socio B", es decir con representación en el consejo directivo aunque sin derecho a voto.

Asimismo, la CIRT promueve en coordinación con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes la realización de experimentos de DAB en México.

Entre el 26 de abril y el 7 de mayo de 1993 se llevan a cabo en la Ciudad de México pruebas del sistema Eureka 147 con el auspicio de la CIRT y la Asociación de Radiodifusores de Canadá, país interesado en usar ese sistema, las cuales son exitosas. Hasta ese momento parecía que los radiodifusores mexicanos impulsarían decididamente el sistema europeo de radiodifusión digital. Sin embargo, en ese mismo año logra consolidarse dentro del gremio una fuerte oposición al Eureka 147 promovida especialmente por los radiodifusores del norte del país que frena el entusiasta impulso inicial que dio la CIRT a este sistema. La oposición de los radiodifusores de la frontera norte se fundamenta en que, a su juicio, sería un gran problema para la radiodifusión fronteriza la existencia de un sistema como el Eureka 147 que no puede ser utilizado en Estados Unidos,

pues una gran parte del auditorio y del mercado publicitario de las emisoras mexicanas ubicadas en esa zona se localiza en la parte sur del territorio estadounidense.[20]

En octubre de 1993, la CIRT toma la decisión de no asumir ningún compromiso con los sistemas de DAB existentes. En su Asamblea General de ese año, la cámara de los radiodifusores mexicanos determina que en relación a la DAB seguirá "de cerca los desarrollos de esta tecnología sin tomar en la actualidad una decisión definitiva sobre ninguno de los dos sistemas, esperando que para los próximos dos años ya existan datos concretos que permitan a México fijar su posición sobre la radiodifusión sonora digital". [20]

En 1996 la CIRT no toma aún ninguna decisión acerca del sistema DAB que apoyará. En contraste, el sistema Eureka 147 ha iniciado ya operaciones cotidianas en varios países de Europa. En Inglaterra, la BBC inició transmisiones el 27 de septiembre de 1995; el mismo día, en Estocolmo, Suecia, se comenzó a transmitir una programación de radio digital, y el 7 de octubre del mismo año, en Baviera, Alemania, las señales digitales empezaron a transmitirse como programación continua.[20]

En 1997 México registro la banda "S" en la UIT para el servicio de radiodifusión sonora digital. (2,310 a 2,360 MHz, 50 MHz)

En 2000 México firma un acuerdo con Estados Unidos, para el uso compartido del espectro de la banda "S".

En 2002, se reequipan las instalaciones Grupo Radio Centro (GRC) Chiquihuite (fig. 5.1) para la transmisión en sistema digital, y se realizan las primeras pruebas en la estación con los sistemas IBOC y Eureka.

Hace algunos años, durante la expansión internacional del DAB, algunos experimentos de radio terrestre y por satélite tuvieron lugar en la banda L. [18] Concretamente, fue en el 7 de octubre de 2003 en el marco de los trabajos de la XLV Semana Nacional de Radio y Televisión, cuando el Arquitecto Pedro Cerisola y Webber, titular de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, entregó un permiso para probar la HD Radio y el DAB a la concesionaria de la estación radiodifusora comercial XHFAJ-FM de la Ciudad de México, fue ésta concesionaria la que la solicitó con el apoyo de la CIRT. En el caso del DAB, el distintivo de llamada asignado fue XHEURK-RD, la P.R.A. de 3,171 kW (o 1,553 kW o 183 vatios, según otras fuentes) y la frecuencia autorizada fue el bloque LJ (o LC, según otras fuentes), en el cual se incluyeron las señales de audio de 5 emisoras: Radio Red FM (XHRED-FM), Alfa Radio (XHFAJ-FM), Stereo Joya

(XEJP-FM), 97.7 (XERC-FM) y La Z (XEQR-FM). El permiso fue otorgado por un período de 8 meses que comprende del 6 de octubre de 2003 al 5 de junio de 2004. [21][22]

La COFETEL decidió que para la Frontera Norte del país se autorizara el uso experimental y voluntario del sistema HD Radio, fundamentalmente porque Estados Unidos definió ya que este estándar sea su sistema nacional y ha empezado una transición digital en esa nación que tiene un impacto en los radiodifusores del norte de México.

5.2. Situación Actual del Sistema DAB Eureka 147

Actualmente, el DAB está entrando en la fase de implementación en varios países y existen multitud de proyectos en marcha, tanto en Europa como en otras partes del mundo.

En cuanto a beneficios se puede decir que la principal ventaja aportada por la radio digital, en comparación con la actualmente existente, es la calidad del sonido, que llega al oyente sin perturbaciones ni interferencias (ni siquiera en recepción móvil), y un sonido similar al del disco compacto; otra es, que los receptores de gama alta incorporan pantallas que permiten a los usuarios disponer de una gran cantidad de información adicional en forma de textos e imágenes de interés ciudadano: tráfico, centros de salud, urgencias, farmacias, espectáculos, entre otros; por otro lado, nos ayuda a realizar funciones simplificadas; es decir, tan solo con seleccionar la estación que deseamos usando las letras de indicación o los nombres indicados en la pantalla de cristal líquido (LCD, por sus siglas en inglés) de la radio digital y la computadora dentro de la radio hará el resto y también nos da Potencial para introducir nuevos servicios de datos e información que serán indicados en la pantalla de la radio cuando se introduzcan funciones exclusivamente digitales. Por ejemplo, una estación podría transmitir información de fondo sobre un grupo musical cuando la música de ese grupo se está oyendo. Los anunciantes podrían enviar información sobre descuentos y ofertas.

Los oyentes podrían programar sus radios para recibir partes meteorológicos personalizados, noticias, o cotizaciones de bolsa.

Actualmente, en nuestro país falta únicamente decidir cuál será el estándar tecnológico de transmisión por seguir para que México se incorpore a la modernidad en cuanto a radiofonía. Por otra parte; en la radio mundial competían hasta hace muy poco tiempo dos propuestas de sistema de radio digital: el europeo Eureka 147 y el estadounidense InBand

On Channel (IBOC). La primera, con más penetración en Europa, la segunda, en U.S.A.



Fig. 5.1. Antenas del Cerro del Chiquihuite



Fig. 5.2. Equipos utilizados en las pruebas de 1993 para el sistema DAB en México



Fig. 5.3. Recepción móvil en banda "L", 1993, CIRT

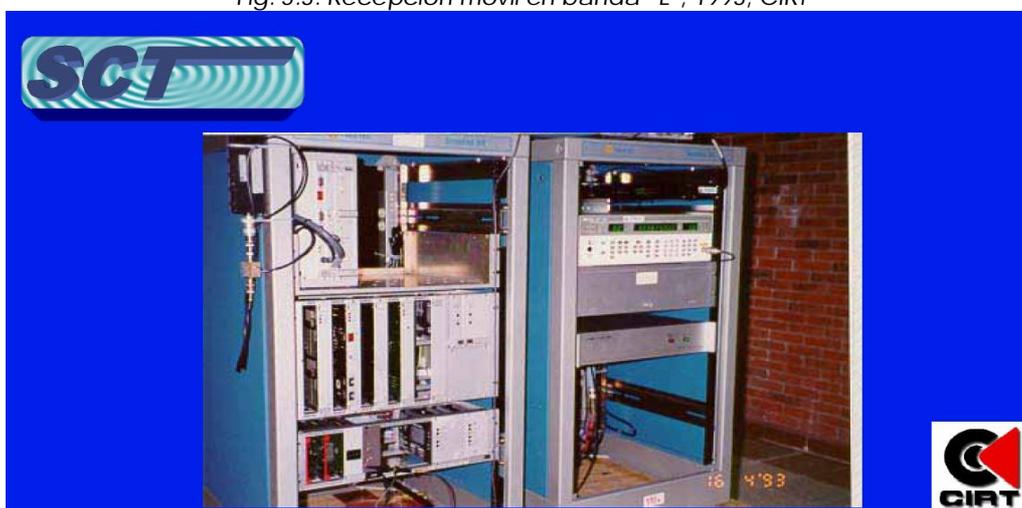


Fig. 5.4. Transmisor en banda "L", 1993, CIRT

5.3. Recomendaciones para la Adopción e Implantación de un estándar de Radiodifusión Digital en México

Algunas recomendaciones económicas serían:

- 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 qué 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 adapte 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 más les convenga (incluyendo compra de nuevos equipos o mejora de los que ya se tienen, acondicionamiento del lugar de transmisión, etc.). Ver cuál 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 el caso único de DAB:

Es importante señalar que un impacto económico que tendría para las radiodifusoras el cambiar al estándar DAB, recae no solo en las estaciones radiodifusoras, sino también en el gobierno y en los clientes finales, es decir, los radioescuchas. 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. También debe de tomarse en cuenta, que tanto se afecta al modelo económico de radiodifusión actual y que tan “sano” es para el mercado la introducción de una nueva tecnología.

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, son un buen camino para determinar el problema que representa, en un país como el nuestro, la adopción de esta tecnología.

5.4. Ventajas y Desventajas del sistema DAB [23]

Las ventajas del DAB con respecto a la radio analógica y demás tecnologías digitales son:

- Calidad digital, es decir, similar a escuchar un CD, sin ruidos, sin interferencias (el DAB se oirá o no, pero no se oirá mal)
- Tiene el canal de datos asociados o Pad Channel, el cual es la verdadera innovación que merece comentarios aparte. El canal de datos permitirá dar informaciones a través de una simple pantalla de LCD.
- DAB es una tecnología madura, que ha sido implementada en Reino Unido, Alemania, Canadá y probada en otras partes de Europa.
- DAB puede ser puesto en práctica para una gama de aplicaciones, en transmisiones en área amplia o en la entrega local de audio y servicios de datos para el receptor móvil y fijo. DAB puede ser entregado terrestremente, vía el satélite, por cable o una mezcla de terrestre y satélite.
- DAB está diseñado para ser utilizado en una amplia gama del espectro, desde 30 - 3000 MHz, pero sólo ha sido implementado usando VHF Banda III (Región 1, Europa) y desde 1452 - 1492 MHz segmento de banda L.
- DAB utiliza el sistema de modulación COFDM que proporciona una transmisión robusta frente a caminos de multitrayectoria y puede proveer alta disponibilidad de cobertura.
- Un número creciente de receptores DAB están disponibles para autos, el hogar así como para versiones portátiles.
- En la radiodifusión análoga cada emisora en un área determinada tiene un transmisor y una frecuencia propia. El sistema DAB combina compresión y multiplexación, para permitir la difusión de varios programas simultáneamente con un solo transmisor y una única frecuencia. En principio eso implica un ahorro económico ya que varias emisoras pueden transmitir con un solo transmisor, compartiendo los costos de adquisición y mantenimiento. En la práctica es común que los transmisores sean propiedad de terceros, quienes se ocupan de su mantenimiento y los alquilan a múltiples emisoras.

- Además de la señal de audio digitalizada, en el múltiplex se transmiten otras informaciones:
 - ✓ El canal de información: Transporta la configuración del múltiplex, información de los servicios, fecha y hora, servicios de datos generales como: radio búsqueda, sistema de aviso de emergencia, información de tráfico, sistema de posicionamiento global, etc. Los datos asociados al programa se dedican a la información directamente relacionada con los programas de audio: títulos musicales, autor, texto de las canciones en varios idiomas, etc.
 - ✓ Servicios adicionales: Son servicios que van dirigidos a un grupo reducido de usuarios, como por ejemplo: cancelación de tarjetas de crédito robadas, envío de imágenes y textos a tableros de anuncios electrónicos, etc. Todos estos datos se reciben a través de una pantalla incorporada al receptor.

Las posibilidades de aplicación son casi infinitas, por ejemplo:

- Imágenes fijas en paralelo con la información hablada
- Mapas con la información meteorológico
- Mapas con la información de tráfico y rutas alternativas
- Títulos de la canción o de la emisora que se está escuchando.
- Karaoke
- Servicio de localización o GPS
- Información hotelera, precios, plazas, etc.
- Farmacias y servicios de guardia
- Periódico electrónico con fotografías de los titulares, etc.

Por otro lado, las grandes desventajas hoy por hoy del DAB son:

- Los sistemas de codificación de audio MPEG-1 capa II y MPEG-2 capa II, no son muy óptimos comparados con los sistemas actuales. Esto conlleva a la necesidad de adaptar o reemplazar los receptores, para implementar los nuevos servicios.
- Si bien una serie de receptores están disponibles en el mercado, generalmente son considerados como demasiado costosos para el público, especialmente cuando se compara con el receptor AM y FM que utilizan actualmente muchos oyentes. Esta es una cuestión para todos los sistemas de radio digital. Con la expansión del sistema DAB se espera una reducción del costo de receptores.
- DAB usa espectro que algunas veces es usado para servicios de televisión analógica o digital (VHF Banda III), Servicios de Defensa

(superior a VHF Banda III) y servicios de radiocomunicaciones (Banda L). Si un modelo de conversión se utiliza para la introducción de la radio digital para encontrar un espectro suficiente para la conversión de todos los servicios de radiodifusión analógica a la digital no será fácil, especialmente en banda L requerirá más transmisores para proporcionar cobertura de área amplia y adecuada recepción en las zonas urbanas.

- DAB requiere la compra de un nuevo y costoso transmisor, aunque el costo de su compra, operación y mantenimiento puede ser compartido por varias emisoras. En un período de transición, que puede ser de muchos años, se requieren transmisores DAB y análogos.

5.5. Interferencias entre Estaciones de Radio AM utilizando el Sistema Digital IBOC

En la banda de frecuencias MF se recurre a la modulación por amplitud para transmitir señales de radio analógico. La frecuencia central de transmisión asignada a cada estación está separada de otras por medio de una banda de guarda que, debido al esquema de modulación utilizado, es un tanto angosta comparada con la banda de guarda presente entre estaciones que utilizan modulación por frecuencia. En México se define una separación de 10kHz entre los canales de transmisión [24].

Las interferencias en transmisiones de señales AM son controladas a través de esta banda de guarda, además del control de potencia de transmisión sobre todo para el caso de operación nocturna. Los 10kHz de protección son suficientes para evitar cualquier traslape del espectro de las señales, considerando que el espectro de transmisión de estas señales se extiende aproximadamente 5kHz a cada lado de la frecuencia central de transmisión, f_c , como se muestra en la figura 5.5, haciendo que el canal de transmisión ocupe 10kHz [25].

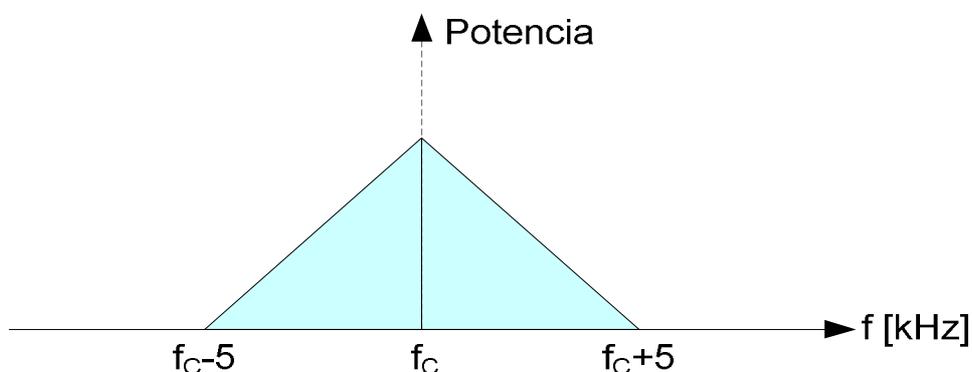


Fig. 5.5. Esquema de ocupación espectral de una señal de AM

De esta forma, las frecuencias centrales de transmisión de las estaciones adyacentes estarán ubicadas en $f_c - 20$ kHz y en $f_c + 20$ kHz, correspondientes a las estaciones de la izquierda y de la derecha, respectivamente. Note que entre los espectros de las señales queda siempre una banda de guarda de 10 kHz.

Los sistemas de radiodifusión sonora digital utilizan esta banda de guarda para transmitir sus señales digitales de menor potencia y, considerando que los requerimientos espectrales de estos sistemas son diferentes entre sí, también serán ligeramente diferentes los problemas de interferencia que implique la implementación de uno u otro sistema de radiodifusión digital.

5.5.1. Asignación espectral en México en la banda de Frecuencias de Onda Media

El rango de frecuencias utilizado en México para la transmisión de señales con esquema de modulación por amplitud va de 535 a 1605 kHz [24] y las estaciones que actualmente operan en esta banda de frecuencias se muestra en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Asignación espectral del rango de frecuencias de OM en la Ciudad de México

| Distintivo | Frecuencia Portadora [kHz] | Potencia de Transmisión [kW] | |
|-------------------------|----------------------------|------------------------------|----------|
| | | Diurna | Nocturna |
| XEOC Radio Chapultepec | 560 | 0.75 | 0.5 |
| XEPH Tuya 590 | 590 | 25 | 10 |
| XENK Radio 6.20 | 620 | 10 | 5 |
| XEDTL Comunicación | 660 | 50 | 1 |
| XEN La 69 | 690 | 50 | 5 |
| XEMP Radio 710 | 710 | 10 | 1 |
| XEX Estadio "W" | 730 | 100 | 100 |
| XEABC ABC Radio | 760 | 70 | 5 |
| XERC Formato 21 | 790 | 50 | 1 |
| XEITE Radio Capital | 830 | 10 | 5 |
| XEUN Radio UNAM | 860 | 45 | 10 |
| XEW "W" Radio 900 | 900 | 250 | 250 |
| XEQ Bésame 940 | 940 | 50 | 50 |
| XERFR Radio Fórmula 970 | 970 | 50 | 4 |
| XEOY Radio Mil | 1000 | 50 | 20 |
| XEQR Radio Centro | 1030 | 50 | 5 |
| XEEP Radio Educación | 1060 | 100 | 20 |
| XERED Radio RED | 1110 | 50 | 10 |
| XECMQ El Fonógrafo | 1150 | 20 | 10 |

| | | | |
|---------------------------|------|-----|-----|
| XEFR Radio Felicidad | 1180 | 10 | 5 |
| XEB La B Grande de México | 1220 | 100 | 100 |
| XEL La 1260 | 1260 | 20 | 10 |
| XEDA Radio 13 | 1290 | 10 | 1 |
| XEJP Track 1320 | 1320 | 20 | 20 |
| XEQK Ciudadanos | 1350 | 5 | 1 |
| XECO Romántica 1380 | 1380 | 50 | 5 |
| XEBS Radio Sinfonola | 1410 | 25 | 10 |
| XEEST Radio Noticias 1440 | 1440 | 25 | 1 |
| XEAI Radio Fórmula 1470 | 1470 | 50 | 5 |
| XEDF Radio Fórmula 1500 | 1500 | 50 | 5 |
| XEUR Frecuencia Positiva | 1530 | 50 | 1 |
| XEFAJ La Banda 1560 AM | 1560 | 50 | 10 |
| XEVOZ Bonita | 1590 | 50 | 10 |

En la tabla pueden observarse las frecuencias centrales de transmisión de cada estación, así como las potencias de transmisión durante el día y la noche [26].

Ahora bien, el sistema AM-IBOC, tiene diferentes requerimientos espectrales para poder transmitir sus señales digitales dentro de las bandas de guarda cuando trabajan bajo el modo de operación híbrido. Este modo de operación se desarrolló para facilitar la transición del sistema analógico al digital. Aunque este hecho representa una gran ventaja para su introducción al mercado, presenta, sin embargo, algunos problemas.

A pesar de las pruebas que hasta ahora se han realizado utilizando el sistema IBOC, los problemas de interferencia se han dejado de lado porque las pruebas han sido realizadas solo en estaciones "aisladas" o solo con fines demostrativos y bajo condiciones controladas. Es decir, no ha habido pruebas de transmisión simultáneas en estaciones adyacentes, bajo las especificaciones de los sistemas digitales. Por esta razón lo que se ha observado hasta ahora acerca del funcionamiento de este sistema son solo aspectos parciales de lo que en realidad implican.

Los problemas de interferencias aparecerán sobre todo en estaciones cuyas frecuencias centrales de transmisión estén muy cercanas entre sí; es decir, donde la banda de guarda es la mínima requerida: 10kHz.

En la tabla 5.1 se observa que, generalmente, las frecuencias centrales están separadas por 30 kHz e incluso 40 kHz (sin considerar el ancho del canal), sin embargo, hay casos en que las frecuencias están separadas tan solo por 20 kHz cumpliendo con lo establecido en [22]; pero, considerando

el requerimiento espectral del sistema AM-IBOC, puede notarse un riesgo claro de interferencias entre las señales digitales de estas estaciones al trabajar bajo el modo de operación híbrido.

En particular, se tiene el caso de las estaciones mostradas en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Estaciones con separación mínima entre frecuencias centrales de transmisión

| Distintivo | Frecuencia de portadora [kHz] | Potencia de transmisión diurna [kW] |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| XEN La 69 | 690 | 50 |
| XEMP Radio 710 | 710 | 10 |
| XEX Estadio "W" | 730 | 100 |

5.5.2. Estudio para el sistema AM-IBOC

En el modo híbrido de operación de este sistema, las señales digitales ocupan aproximadamente 10 kHz a cada lado del canal de transmisión de la señal.

Puede notarse que para el caso de las estaciones mostradas en la tabla 5.2, inevitablemente habrá interferencias entre las señales digitales de las estaciones adyacentes. La figura 5.7, ilustra las interferencias entre estas estaciones.

La potencia de las señales analógicas no es la misma para todas y, por eso, tampoco es igual la potencia de la parte digital de la señal híbrida, pues cada una está escalada con respecto a la potencia de la señal analógica "host" correspondiente. Así, por ejemplo, las bandas superiores primaria y secundaria de la señal en 690 kHz interfieren con las bandas secundaria y primaria inferiores de la señal en 710 kHz, respectivamente.

En la tabla 5.3 se muestran los valores de potencia de cada banda lateral digital con respecto a la potencia de su señal analógica "host". Debe notarse que el escalamiento de las portadoras digitales está establecido en [4], de forma que las bandas laterales primarias están a 16 dB por debajo de la potencia de la portadora, las secundarias están aproximadamente hasta 30 dB por debajo de la potencia de dicha portadora y, en lo que respecta a las terciarias, su valor es ajustable y debe ser controlado pues se ubican dentro del espectro utilizado para la transmisión analógica de las señales.

Tabla 5.3. Potencias de portadoras digitales en AM-IBOC modo híbrido

| f_{central} [kHz] | P_{central} [kW] | P_{primaria} [kW] | $P_{\text{secundaria}}$ [kW] |
|----------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 690 | 50 | 1.26 | 0.05 |
| 710 | 10 | 0.25 | 0.01 |
| 730 | 100 | 2.51 | 0.1 |

A partir de los datos de la tabla anterior, es fácil notar que existirán problemas de interferencia con estas tres estaciones si se trabaja con el sistema AM-IBOC en su modo híbrido. Las portadoras digitales que no se transmiten (± 54 a ± 56) para evitar interferencias por primer adyacente, solo sirven para proteger una pequeña parte de las banda laterales primarias, que son las que forman la parte más importante de la señal digital; las bandas secundarias y terciarias hacen una mejora en la calidad de la señal digital.

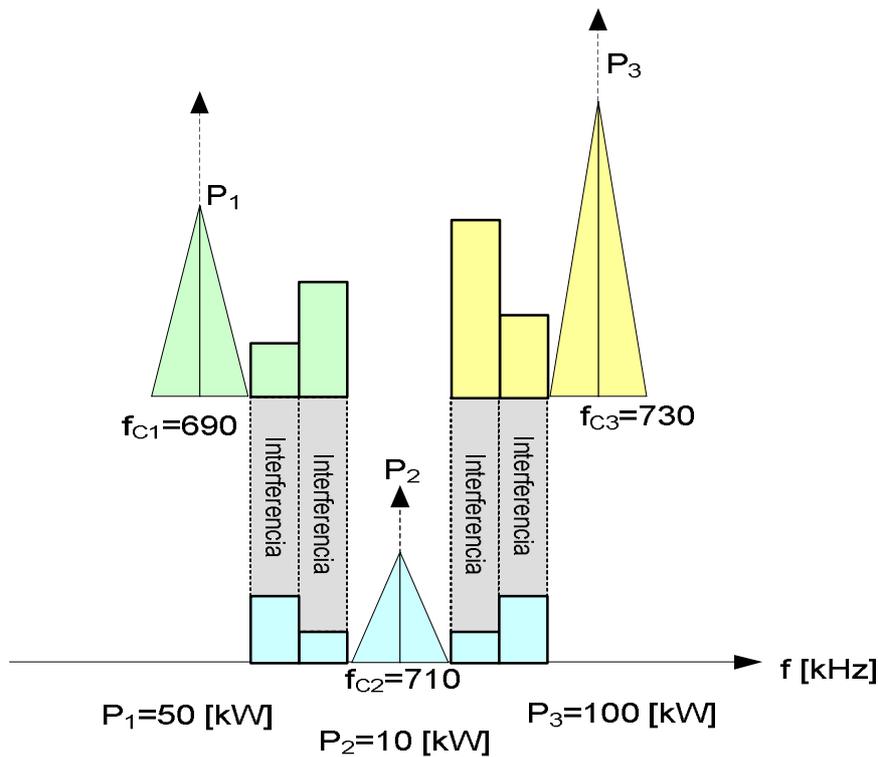


Fig. 5.7. Interferencia de señales digitales AM-IBOC entre estaciones adyacentes

Bibliografía y Referencias

- [1] <http://www.cirt.com.mx/>
- [2] Blog de Periodismo Radiofónico UIA ABRIL 24, 2009
- [3] World DAB Forum: <http://www.worlddab.org>
- [4] Documento de especificaciones de transmisión de AM-IBOC, Ibiqity Digital National Radio Systems Committee, Abril 2005.
- [5] www.drm.org
- [6] www.drmradio.co.uk
- [7] Recomendación de la UIT, BS.1514-1: "Sistema para radiodifusión sonora digital en las bandas de radiodifusión por debajo de 30 MHz"
- [8] Informe de Vigilancia Tecnológica: Radiodifusión Sonora Digital por Satélite: Tecnologías y Servicios, Pedro José Lobo, et al, Universidad Politécnica de Madrid.
- [9] www.worlddab.org/technology/dab
- [10] Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers (ETSI, EN 300 401 V1.4.1).
- [11] Borrador ETSI TR 101 497 v1.1.1 (Informe técnico). Digital Audio Broadcasting System; Rules of Operation for the Multimedia Object Transfer Protocol (RO MOT)
- [12] Comisión Federal de Telecomunicaciones www.cft.org.mx
- [13] Analog Radio vs Digital Radio, Digitalradiotech, www.digitalradiotech.co.uk/analog_vs_digital.html
- [14] Camino a la radio digital pero sin sobresaltos, Eduardo Esarte, Blog Radiodifusión y Tecnología
- [15] Global Broadcasting Update, World DMB, Enero 2009
- [16] Tesis sobre el Estudio Comparativo Técnico- Económico de los Estándares Terrestres de Radiodifusión Digital DAB e IBOC, José Alfredo Vázquez, 2009
- [17] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (1995). Recomendación BO. 789-2 Necesidades del servicio de radiodifusión sonora digital para receptores de vehículos, portátiles y fijos del servicio de radiodifusión (sonora) por satélite en la gama de frecuencias 1 400-2 700 MHz. . Ginebra, Suiza.
- [18] La radio digital es la nueva forma de transportar la señal radiofónica, que se conoce con las siglas anglosajonas D.A.B. (Digital Audio Broadcasting) La Radiodifusión Sonora Digital, o DAB, tiene las siguientes características básicas: a) calidad de sonido similar a la del compact disc; b) señal resistente a las distorsiones y desvanecimientos que suelen producirse en las transmisiones de AM y FM; c) cada canal de DAB tiene un ancho de banda menor al que ocupa uno de FM; d) puede operar tanto a través de antenas terrestres como mediante transmisiones vía satélite, y puede difundirse a receptores fijos o móviles.
- [19] Sosa Plata, Gabriel, "Grupos, cadenas y alianzas estratégicas en la radio", en Revista Mexicana de Comunicación número 45, agosto-octubre de 1996, ed. Fundación Manuel Buendía, p.p. 24-28.
- [20] "El incierto futuro de la radio sonora digital en México", en Revista Mexicana Comunicación número 33, enero-marzo de 1994, ed.

- Fundación Manuel Buendía p.p. 34-37.
- [21] Country Information for DAB, DAB+ and DMB – México
 - [22] Tecnología al Día, julio de 2004 www.cirt.com.mx/tecnologia_jul2004
 - [23] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2007). Recomendación BS. 1114 - 6 Sistemas de radiodifusión sonora digital terrenal para receptores en vehículos, portátiles y fijos en la gama de frecuencias 30-3 000 MHz Ginebra, Suiza.
 - [24] Norma Oficial Mexicana NOM-01-SCT1-93
 - [25] Recomendación UIT-R BS.1349
 - [26] Documento "Infraestructura de Estaciones de Radio AM", del sitio en Internet de COFETEL.

Conclusiones

Dentro de los beneficios que implica la adopción de las tecnologías digitales se observa el incremento de la calidad y la adición de nuevos servicios, a lo que se suma el uso eficiente del espectro radioeléctrico y de las fuentes energéticas, al tiempo que brinda la posibilidad de mayores oportunidades de acceso al espectro a más interesados, promueve la competencia, potencia la creación y suministro de contenidos y permite la expansión y creación de medios masivos de comunicación, que es en últimas un derecho constitucionalmente reconocido.

En el caso de la radiodifusión sonora, la adopción de estrategias de migración tecnológica, debería considerar las dificultades que representa la transición de un servicio e industria que hoy tiene un modelo consolidado, de muy alta penetración producto de un largo periodo de maduración y estabilidad, por la incertidumbre propia de un nuevo servicio, que no se ha masificado y está sometido a un conjunto de variables y riesgos que son complejos de cuantificar y valorar, dados los cambios y transformaciones que acompañan las actualizaciones tecnológicas.

Cualquier avance tecnológico referido a la difusión radiofónica, a diferencia de otras industrias culturales pero al igual que la televisión, debe contar con todo un marco normativo y concesional que decida sobre el reparto del espectro radioeléctrico, las características técnicas concretas de cada frecuencia y el proceso concesional que repartirá discrecionalmente dichas frecuencias entre algunos elegidos. Ya fuera la radio monopolio gubernamental o propiedad privada, el espacio radioeléctrico, ese bien escaso y declarado de interés público, tiene un único propietario: el Estado; en todo caso, es en el plano encargado donde su intervención se integra con mayor o menor fuerza, manteniendo a menudo una relación de razonamiento con el mercado y su propia lógica.

Entre las dificultades que pueden llegar a obstaculizar el incremento en la penetración de estos servicios, se encuentran los costos de los receptores o la falta de los mismos, que en la actualidad no han llegado a etapas de madurez y masificación y por lo tanto son relativamente elevados; otro aspecto por considerar sería un mayor volumen de emisoras como oferta para la pauta publicitaria, la cual es la fuente primordial de financiación del servicio, unido a la ausencia de crecimiento del mercado publicitario en radiodifusión; todo lo cual podría afectar el servicio.

El Eureka DAB ofrece una recepción mucho más nítida gracias a una menor interferencia y una mejor calidad de sonido que la tradicional radio análoga. Si se define el Eureka DAB como el estándar tecnológico, el Estado debería definir las características bajo las cuales se prestaría el servicio, las cuales dependerán directamente de sus potencialidades. Así mismo, el Estado debería organizar las bandas de frecuencias que se utilizarían en la implementación y en la operación del servicio, e implementar políticas que promuevan la migración tecnológica por parte de los operadores, así como la renovación de terminales por parte de los usuarios.

Adicionalmente, el Estado podría actuar como impulsor del nuevo servicio digital, realizando un uso óptimo del Espectro Radioeléctrico. Desde la perspectiva de los operadores, éstos deberían identificar cómo operarían el servicio mediante la utilización de las nuevas tecnologías, cómo renovarían su respectiva infraestructura, qué tipos de aplicaciones ofrecerían a los usuarios, diseñarían las condiciones para estructurar el servicio a su cargo, la modalidad y tipo de los contenidos, la forma de satisfacer mejor las necesidades de los clientes, así como la estructura económico financiera de su operación. Unido a ello requerirían definir cómo asegurar que el Estado les mantenga los derechos que ya han adquirido, y analizar cómo se comportaría el mercado ante la nueva oferta del servicio de radiodifusión sonora digital.

El Estado debería adoptar una política regulatoria que incentive, fomente o financie la introducción y la masificación de la tecnología, que por tratarse de innovaciones tecnológicas muy recientes son costosas, y por la dificultad que normalmente acompaña este tipo de migraciones como la resistencia al cambio.

El Eureka DAB podría eventualmente competir con todos sus similares agregando mayor capacidad al canal, principalmente a través de su MOT, resultando así en una solución de manera modular-escalar a un menor costo. Cabe destacar también que tiene mayor eficiencia en la utilización del espectro y la potencia ya que se utiliza un único bloque para una Red nacional, territorial o local terrenal, con transmisores de baja potencia.

Mediante el sistema DAB se superan los efectos que la propagación multitrayecto, debida a las reflexiones en edificios, montañas, etc., que produce en los receptores estacionarios, portátiles y móviles y se protege la información frente a interferencias y perturbaciones. Estas mejoras se logran mediante la transmisión COFDM que utiliza un sistema de

codificación para distribuir la información entre un elevado número de frecuencias.

El Eureka DAB no solo es un sistema estandarizado en general superior tanto en implementación técnica como práctica sino porque el servicio tiene principalmente el potencial de cambiar la manera en que se percibe y usa la radio en México. Estos cambios involucran los tipos de servicios que pueden ser posibles, y la manera en que estos servicios serán implementados. Este sistema brinda muchas ventajas al oyente, pero además ayuda a la emisora. Las transmisiones requieren niveles de energía más bajos, lo que significa un ahorro considerable en las facturas de electricidad. Con unos transmisores que usan 100 Kw y más, los costes para sostener las transmisiones son altísimos. Al mismo tiempo, al reducir el consumo de energía, el sistema DAB ayuda al medio ambiente.

Los sistemas DAB e ISDB-TSB, ocupan diferentes bandas del espectro radioeléctrico en México dedicadas para la radiodifusión, pero la calidad y servicios que ofrecen, podrían atraer más usuarios, que los sistemas IBOC y DRM. Por contraparte, estos últimos pueden generar un mejor proceso de transición debido al sistema híbrido que traen consigo.

Los nuevos servicios que ofrezca cada estación de radio digital, dependerá del mercado en que se encuentre, en este caso, el mercado mexicano deberá tener presente las experiencias de los países que han puesto en funcionamiento los diferentes estándares de radiodifusión digital, para así, adquirir un sistema acorde a la realidad de México.

Las industrias de la radiodifusión están desarrollando tecnologías que harán de la convergencia digital una realidad. Donde, los consumidores podrán acceder a servicios a través de diferentes terminales capaces de captar contenido multimedios y otros servicios más. Este fenómeno desvanece la frontera entre la radiodifusión tradicional y las comunicaciones digitales, razón por la cual afectará en gran medida la distribución de los medios de comunicación. En consecuencia, el regulador debe estar atento y formular una normativa que refleje dichas transformaciones

Como se vio, al final del presente trabajo de investigación, el sistema de AM-IBOC tiene puntos débiles a causa de sus requerimientos espectrales, sus problemas de interferencia son inevitables en estaciones cuyas frecuencias centrales de operación están separadas por el mínimo ancho espectral de guarda. Las bandas laterales digitales de IBOC en modo híbrido requieren al menos de 10 KHz a cada lado del espectro correspondiente a la señal analógica, por lo tanto la interferencia resulta inevitable, causando que al menos una estación quede sin posibilidades

de transmitir eficientemente alguna señal digital bajo este 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 esta nueva etapa.

Por lo tanto el estándar DAB Eureka 147 resulta ligeramente superior a los demás estándares digitales, 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 con los programas de audio como son título de la canción, autor, texto de la canción en varios idiomas y otros servicios. En el futuro se prevé agregar servicios como guía de programación electrónica y capacidad para transmitir archivos pesados. Así las cosas, se concluye que por la variedad de servicios otorgados y por su eficiencia, el estándar DAB es técnicamente más atractivo para su implementación en nuestro país, México.