



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

## RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL TERRESTRE

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Santillán Torres  
Verónica Isabel  
FECHA: 12 - Abril - 2004  
FIRMA: [Firma]

# T E S I S

*QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:*

## INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

*PRESENTAN:*

**Verónica Isabel Santillán Torres**  
**Odette Iliana Valenzuela Luna**

DIRECTOR DE TESIS: Ing. Jesús Reyes García



México, D.F.

Abril 2004



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.

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

**Agradecemos**  
*a la Universidad Nacional Autónoma de México,  
porque nos permitió crecer no solo intelectualmente si no  
como personas de bien.*

**A la Facultad de Ingeniería,**  
*por mostrarnos un mundo nuevo y a todos los  
profesores, por su ejemplo y los conocimientos brindados  
los cuales influyeron en lo que hoy en día somos,  
en especial al Ing. Jesús Reyes García, por su paciencia  
y ayuda en la guía de este trabajo.*

**El** presente trabajo es ofrecido como un profundo reconocimiento, al enorme esfuerzo de mis padres, he aquí su herencia, gracias por enseñarme a lograr mis objetivos, por su apoyo y sobre todo por la libertad, privilegio con el que siempre he contando, sabiendo que confían en que cada decisión que tomo me lleva a ser una mujer feliz.

Además lo dedico a mis hermanos Luis e Ivan quienes siempre se encuentran en mis pensamientos. Fuente de motivación, para ser mejor cada día.

A toda la familia Santillán, Torres y sus combinaciones por ser parte fundamental en el desarrollo de mi persona y por comprender las ocasiones en que he estado ausente.

Y a mi amiga Odette por participar en este trabajo y permitirme compartir este maravilloso sueño.

Gracias a todos, con mucho amor

Verónica

**Dedico** este trabajo a mis padres por darme su apoyo incondicional y ser la fuerza que siempre necesite para salir adelante, agradezco su paciencia, toda la confianza que depositaron en mí y por estar a mi lado día a día.

También se lo dedico a mis hermanas Isaura, Leslie y a mi cuñado Rodolfo, por impulsarme con gran ímpetu en esta lucha, por comprenderme en esos días difíciles y sobretodo por siempre estar conmigo.

Además, agradezco a mis abuelos y a toda la familia Luna por darme siempre su apoyo

A mi mejor amiga Maribel gracias por brindarme tu amistad todos estos años y por estar en los momentos en que necesite de tu apoyo. A Gerardo y Paulo gracias por compartir todo este crecimiento profesional y personal a mi lado.

A mi amiga Verónica y compañera de tesis le agradezco todos estos años que estudiamos juntas, que nos hicieron crecer y ser mejores personas. Sobretodo por llegar a culminar esto juntas.

Odette

**Finalmente** agradecemos a todos nuestros compañeros y amigos con quienes compartimos nuestro paso por la Universidad e hicieron de esta etapa una época inolvidable.

# Índice

## Capítulo I: Introducción

1.Introducción.....	1
---------------------	---

## Capítulo II: Estado Actual de la Radiodifusión Sonora Analógica

<b>1.Radiodifusión Sonora de Amplitud Modulada (AM).....</b>	<b>3</b>
1.1 Antecedentes Históricos.....	3
1.2 Bandas Atribuidas a la Radiodifusión Sonora de AM .....	6
1.3 Características de Propagación de las Señales de Radiodifusión Sonora de AM.....	8
1.4 Normas Técnicas.....	11
<b>2.Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada (FM).....</b>	<b>14</b>
2.1 Antecedentes Históricos.....	14
2.2 Bandas Atribuidas a la Radiodifusión Sonora de FM.....	16
2.3 Características de Propagación de las Señales de Radiodifusión Sonora en FM .....	16
2.4 Normas técnicas.....	19
<b>3.Usos, Mercado y limitaciones en la actualidad para la Radiodifusión Sonora.....</b>	<b>23</b>
3.1 Principales Formatos de Programación .....	23
3.2 Limitaciones en la Actualidad para la Radiodifusión.....	24
<b>4.Estado de la Radiodifusión Sonora en México .....</b>	<b>26</b>
4.1 Cobertura de la Radio Mexicana.....	26
4.2 La Radio Permisionada, Concesionada y Comunitaria.....	29

## Capítulo III: Procesos Importantes en los Sistemas de Radiodifusión Sonora Digital

<b>1.Técnicas de Codificación de Audio.....</b>	<b>32</b>
1.1 Introducción.....	32
1.2 Compresión.....	32
1.3 Principios Psicoacústicos.....	33
1.4 Codificadores en el Dominio de la Frecuencia.....	38
1.5 Técnicas de Codificación de Audio.....	40
1.5.1 MPEG.....	41
1.5.1.1 MPEG Audio.....	41
1.5.1.2 Fases de MPEG.....	43
1.5.2 SBR .....	47
1.5.2.1 Posibilidades Técnicas de SBR.....	48
<b>2. Técnicas de Control de Errores.....</b>	<b>50</b>
2.1 Introducción.....	50
2.2 Códigos de Bloque Lineales.....	50
2.3 Códigos Cíclicos.....	54
2.4 Códigos Convolucionales.....	56
2.5 Características de los Principales Códigos.....	62

<b>3. Técnicas de Modulación y Multiplexación.....</b>	<b>64</b>
3.1 Modulación Digital.....	64
3.2 Técnicas de Modulación Digital.....	64
3.2.1 Modulación por Desplazamiento de Frecuencia FSK (Frequency Shift Keying).....	64
3.2.2 Transmisión de Desplazamiento Mínimo del FSK (MSK) Minimun Shift Keying.....	65
3.2.3 Modulación por Desplazamiento de Amplitud (ASK) Amplitude Shift Keying.....	66
3.2.4 Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK) Phase Shift Keying.....	67
3.2.5 Transmisión por Desplazamiento de Fase Cuaternaria Quaternary Phase Shift keying (QPSK).....	67
3.2.6 Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM) Quadrature Amplitude Modulation .....	68
3.2.7 Transmisión por Desplazamiento de Fase Diferencial DPSK.....	69
3.3 Multiplexación.....	70
3.3.1 Multiplexado por división de tiempo (TDM).....	70
3.3.2 Multiplexado por división de Frecuencia (FDM).....	71
3.3.3 Modulación Multicanal.....	71
<b>4. COFDM. Coded Orthogonal frequency Division Multiplex.....</b>	<b>72</b>
4.1Funcionamiento General.....	72
4.2 Protección Contra Desvanecimientos.....	73
4.3 Redes de Frecuencia Única.....	74
4.4 Bloques del Transmisor para COFDM.....	75
4.5 Bloques del Receptor para COFDM.....	78

## **Capitulo IV: Sistemas Propuestos Actualmente para la Radiodifusión Sonora Digital**

<b>1.Sistema DAB (Eureka 147).....</b>	<b>81</b>
1.1 Introducción.....	81
1.2 Las principales ventajas que ofrece DAB.....	81
1.3 Descripción General.....	82
1.4 Funcionamiento del sistema DAB.....	84
1.4.1 Codificación Fuente.....	84
1.4.2 Procesado de la Señal.....	85
1.4.3 Sistema de Modulación COFDM.....	86
1.4.4 Multiplexación.....	89
1.5 SFN para DAB.....	92
<b>2. Sistema IBOC (In Band/ On Channel) .....</b>	<b>95</b>
2.1 Introducción.....	95
2.2 Descripción General.....	97
2.3 Funcionamiento del sistema IBOC .....	98
2.3.1 PAC.....	99
2.3.2 IBOC AM .....	99
2.3.3 IBOC FM.....	104

<b>3. Sistema DRM (Digital Radio Mondiale)</b> .....	<b>108</b>
3.1 Introducción.....	108
3.2 Evolución DMR.....	109
3.3 Algunas características del DRM.....	109
3.4 Funcionamiento General .....	112
3.4.1 Codificación de la Fuente.....	112
3.4.2 Codificación de Canal y Modulación.. ..	117
3.4.3 Multiplexación.....	118
<b>4. Radio por Satélites</b> .....	<b>120</b>
4.1 Introducción.....	120
4.2 DARS (Digital Audio Radio Satellite).....	120
4.2.1 XM Satellite Radio.....	121
4.2.2 Sirius Satellite Radio.....	122
4.3 WorldSpace.....	124

## **Capítulo V: Aspectos a Considerar para un Sistema de Radiodifusión Sonora Digital**

<b>1. Espectro Radioeléctrico y Aspectos de Regulación Legal</b> .....	<b>126</b>
1.1 Asignación de Nuevas Bandas.....	126
1.2 Servicios en las Banda Actuales.....	127
1.3 Aspectos Legales en México.....	130
1.4 Convergencia Tecnológica.....	131
<b>2. Aspectos de Propagación y Cobertura</b> .....	<b>132</b>
2.1 Propagación.....	132
2.2 Cobertura.....	135
<b>3 Aspectos Económicos</b> .....	<b>136</b>
3.1 La Industria de la Difusión.....	137
3.2 La Industria Fabricante.....	139
3.3 Los Radioescuchas.....	140

## **Capítulo VI: Estado Actual de Implantación de la Radiodifusión Sonora Digital**

<b>1. Alrededor del Mundo</b> .....	<b>141</b>
1.1 Situación Actual del Sistema Eureka 147.....	143
1.2 Situación Actual del Sistema IBOC.....	149
1.3 Situación Actual del Sistema DRM.....	152
1.4 Situación Actual de los Sistemas por Satélite.....	156
<b>2 Perspectivas para México</b> .....	<b>158</b>
2.1 Los Pasos de México en la Radio Digital.....	159

**Capítulo VII: Conclusiones**

**1.Conclusiones.....167**

**Anexo: Receptores Para los Sistemas de Radiodifusión Digital.....169**

**Bibliografía.....178**

## Capítulo I: Introducción

### 1. Introducción

Actualmente en todas las áreas en las que está presente la electrónica como lo es el caso de los sistemas de Telecomunicaciones, se tienden a remplazar los sistemas analógicos existentes por sus contrapartes digitales. La revolución digital ha incrementado en las personas las expectativas de calidad para los diversos sistemas y servicios.

Hoy en día están presentes en todos los países sistemas de radiodifusión sonora analógicos, tales como los de FM o AM, los cuales tienen de una serie de limitaciones propias por la naturaleza de su transmisión. Estas limitaciones aconsejan la evolución del sistema de radiodifusión actual o la implementación de un nuevo sistema que aproveche los recursos de una manera más eficiente. Digitalizando la radio se solucionarían estas limitaciones, poniendo este medio a la par con otras tecnologías de comunicaciones y difusión.

La Radiodifusión Sonora Digital es ahora una realidad, con un sistema totalmente operacional, otros dos sistemas que acaban de lanzarse al mercado además de los que trabajan por satélites. La Radiodifusión Sonora Digital ofrece aumentar la calidad en las transmisiones, un mejor aprovechamiento del espectro, y añadir servicios de valor agregado entre otras ventajas propias de las tecnologías digitales. Sin embargo estas posibles mejoras, propuestas por los sistemas digitales imponen ciertos retos, ya que no son sistemas que hayan sido diseñados para una conversión directa de los sistemas analógicos existentes.

Esta investigación tiene como objetivo exponer los requisitos que debe reunir un Sistema y un Servicio de Radiodifusión Sonora Digital Terrestre destinados a receptores fijos, portátiles e instalados en vehículos, las técnicas que se emplean en los Sistemas de Radiodifusión Sonora Digital Terrestre y los parámetros que intervienen en la planificación del Servicio y la compartición de frecuencias. Así también, se busca dar a conocer los diversos Sistemas y Servicios de Radiodifusión Sonora Digital que se han desarrollado a nivel mundial, y cómo estas tecnologías están transformando la radiodifusión.

Primeramente se analiza el estado actual de la radiodifusión analógica, su importancia como medio de difusión y los grandes problemas con los que ha sufrido por mucho tiempo. Esto será la base para entender los beneficios que nos proporciona la digitalización. Pero también para lograr establecer los parámetros necesarios para la compatibilidad entre sistemas analógicos y digitales, ya que inevitablemente habrá un tiempo en el que tendrán que convivir.

Más adelante, se hace un estudio detallado de las técnicas que habilitan los Sistemas de Radiodifusión Sonora Digital, procesos importantes como: codificación de audio, control de errores y técnicas de modulación y multiplexación.

Existen dos elementos tecnológicos alrededor de los cuales gira la implantación de los Sistemas de Radiodifusión Digital: la codificación de audio, basada en la percepción humana, la cual ofrece tasas de compresión altas y la modulación COFDM que permite una recepción muy robusta, tanto en receptores fijos, portátiles o los instalados en vehículos. Este estudio se realiza con la finalidad de conocer todas aquellas variantes para la implementación de los sistemas así como los posibles alcances técnicos que contienen.

Después se presenta la especificación de los principales sistemas de Radiodifusión Sonora Digital propuestos a nivel mundial. El sistema con más experiencia es Eureka 147 (DAB), que principalmente opera en Europa y que está diseñado para remplazar la radiodifusión FM y AM. Otra propuesta importante es el sistema desarrollado en Estados Unidos por el consorcio Ibtiquity, HD Radio que ha estado realizando pruebas en sistemas denominados en banda y en canal (IBOC), los cuales permitirán mantener la infraestructura existente de la radio en operación.

Mientras tanto los radiodifusores internacionales desarrollaron el sistema DRM, dirigido a trabajar en frecuencias debajo de 30 [MHz] y remplazar las transmisiones de AM. Por último los sistemas por satélite, de los que destacan los sistemas DASR que actualmente operan en Estados Unidos a través de dos empresas, XM Satellite Radio y Sirius Satellite Radio. Por otro lado, se encuentra la empresa WorldSpace, misma que ha enfocado sus esfuerzos a un cubrimiento global a países no desarrollados

Al realizarse un cambio del servicio de radiodifusión analógico a digital, el principal problema será la elección adecuada para este proceso pues existen varios obstáculos no solo de tipo técnico sino legales, ya que los nuevos sistemas requieren de nuevas bandas de frecuencia o de cambios en la compartición de frecuencias actual. Adicionalmente, la radiodifusión sonora ofrece una diversidad de servicios nuevos no contemplados en la reglamentación existente sobre radiodifusión, lo que implica que también habría cambios en ella.

Otro problema que se analiza es el económico, principalmente para los usuarios. La radiodifusión sonora tiene un problema fundamental, en que siempre ha sido vista como un artículo de consumo de bajo costo. No se espera que las personas paguen grandes sumas de dinero por un radiorreceptor o por una suscripción de servicio de radio.

Por lo anterior se realiza una síntesis de todos los aspectos a considerar para implantar un Servicio de Radiodifusión Sonora Digital, incluyendo aspectos de espectro, regulatorios, propagación, cobertura y económicos.

Complementariamente se estudia la situación en la que se encuentran algunos sistemas de Radiodifusión Sonora Digital alrededor del mundo. Poniendo mayor énfasis en los países que ya adoptaron algún estándar. En el caso de México, se hace un pequeño recorrido acerca del papel que ha tenido en torno a la evolución de estas tecnologías, se establece su situación actual, así como las posibilidades que existen para adoptar cualquiera de los sistemas. Sin dejar de mencionar sus características, beneficios y desventajas que traerán a la radio.

Finalmente nos concretaremos a dar nuestro punto de vista buscando la mejor opción para que nuestro país en poco tiempo adopte una tecnología digital en la radio actual.

## Capítulo II: Estado Actual de la Radiodifusión Sonora Analógica

La radiodifusión sonora ocupa un lugar privilegiado para mantenerse de manera competitiva y de servicio a la sociedad. Sigue siendo el medio más implantado de las sociedades, el de mayor penetración mundial, es un medio de bajo costo en la red técnica, en la producción y en la difusión. Y sobre todo, sigue siendo un medio gratuito para llegar a todos. Es por ello la importancia de iniciar la transformación hacia un sistema y servicio de radiodifusión sonora digital.

Aunque la tendencia sea claramente hacia los formatos digitales, existirá una convivencia de los sistemas ya existentes con los nuevos, es por ello que en este capítulo se incorporan las principales características de los sistemas y servicios actuales en la radiodifusión sonora esperando con ello obtener una base sólida de los sistemas predecesores a las tecnologías digitales.

### 1. Radiodifusión Sonora de Amplitud Modulada (AM)

#### 1.1 Antecedentes Históricos

Aun cuando fueron necesarios muchos descubrimientos en el campo del electromagnetismo de la electricidad hasta llegar a la radio, su nacimiento comenzó a mediados del siglo XIX con el físico británico James Clerk Maxwell. Las investigaciones matemáticas de Maxwell predijeron la posibilidad de propagar ondas electromagnéticas por el espacio libre utilizando descargas eléctricas. Sin embargo la propagación de las ondas fue lograda en 1888 cuando Heinrich Hertz, un científico alemán, pudo radiar energía electromagnética desde una máquina que él llamaba oscilador. Hertz desarrolló el primer transmisor de radio y, usando estos aparatos, pudo generar radiofrecuencias entre 31[MHz] y 1.25[GHz]. Hertz también desarrolló la primera antena.

En 1879 Hughes demostró la recepción de señales de radio procedentes de un emisor de chispas alejado un centenar de metros. Este principio lo utilizó el físico británico Oliver Joseph Lodge en un dispositivo llamado cohesor para detectar la presencia de ondas de radio.

En 1892, E. Brandly, de Francia, desarrolló el primer detector de radio y, exactamente un año después un experimentador ruso, A.S. Popoff, grabó ondas de radio emanadas de relámpagos.

El ingeniero electrotécnico e inventor italiano Guglielmo Marconi está considerado universalmente el inventor de la radio. A partir de 1895 fue desarrollando y perfeccionando el cohesor y lo conectó a una forma primitiva de antena, con el extremo conectado a tierra. Además mejoró los osciladores de chispa conectados a antenas rudimentarias. El transmisor se modulaba mediante una clave ordinaria de telégrafo. El cohesor del receptor accionaba un instrumento telegráfico que funcionaba básicamente como amplificador.

En 1896 consiguió transmitir señales de hasta una distancia de 3[km] y registró su primera patente inglesa. En 1899 envió el primer mensaje inalámbrico por el Canal de la Mancha de Francia a Dover, Inglaterra. En 1902 las primeras señales trasatlánticas fueron enviadas de Poldu, Inglaterra, a San Juan de Terranova, Canadá. En 1909 Marconi compartió el Premio Nobel de Física con el físico alemán Karl Ferdinand Braun.

El éxito obtenido por Marconi en sus transmisiones a larga distancia hizo que varios investigadores se pusieran a pensar cuál era el motivo de que las ondas electromagnéticas siguieran la curvatura de la tierra. En 1902, el ingeniero estadounidense Arthur Edwin Kennelly y el físico británico Oliver Heaviside (de forma independiente y casi simultánea) proclamaron la probable existencia de una capa de gas ionizado en la parte alta de la atmósfera que afectaría a la propagación de las ondas de radio. Esta capa, bautizada en principio como la capa de Heaviside o Kennelly-Heaviside, es una de las capas de la ionosfera. Aunque resulta transparente para las longitudes de onda más cortas, desvía o refleja las ondas de longitudes más largas. Gracias a esta reflexión, las ondas de radio se propagan mucho más allá del horizonte. La propagación de las ondas de radio en la

ionosfera se ve seriamente afectada por la hora del día, la estación y la actividad solar, leves variaciones en la naturaleza y altitud de la ionosfera que tienen lugar con gran rapidez, pueden afectar la calidad de la recepción a gran distancia.

A lo largo de todos estos años se introdujeron diferentes mejoras técnicas. Para la sintonía se utilizaron circuitos resonantes dotados de inductancia y capacitancia. Las antenas se fueron perfeccionando, descubriéndose y aprovechándose sus propiedades direccionales. Se utilizaron los transformadores para aumentar el voltaje aplicado a la antena. Se desarrollaron otros detectores para complementar al cohesor y su rudimentario descohesor.

El desarrollo de la válvula electrónica se remonta al descubrimiento que hizo el inventor estadounidense Thomas Alva Edison al comprobar que entre un filamento de una lámpara incandescente y otro electrodo colocado en la misma lámpara fluye una corriente y que además sólo lo hace en un sentido. La válvula de Fleming apenas difería del tubo de Edison. Su desarrollo se debe al físico e ingeniero eléctrico inglés John Ambrose Fleming en 1904 y fue el primer diodo, o válvula de dos elementos que se utilizó en la radio. El tubo actuaba de detector, rectificador y limitador.

En 1906 se produjo un avance revolucionario, punto de partida de la electrónica, al incorporar el inventor estadounidense Lee de Forest un tercer elemento, la rejilla, entre el filamento y el cátodo de la válvula. El tubo de De Forest que bautizó con el nombre de audión y que actualmente se conoce por triodo, en principio sólo se utilizó como detector, pero pronto se descubrieron sus propiedades como amplificador y oscilador.

Las funciones rectificadoras de los cristales fueron descubiertas en 1912 por el ingeniero eléctrico e inventor estadounidense Greenleaf Whittier Pickard, al poner de manifiesto que los cristales se pueden utilizar como detectores. Este descubrimiento permitió el nacimiento de los receptores con detector de cristal, tan populares en la década de los años veinte.

Un elemento crucial para el desarrollo de la radio fue el oscilador. Este circuito fue inventado en 1913 por el físico estadounidense Edwin Howard Armstrong.

El primer programa público de radio fue emitido en Inglaterra el 23 de febrero de 1920. La emisión regular de radio AM comenzó en 1920 cuando las estaciones de radio WWJ en Detroit, Michigan y, KDKA en Pittsburg, Pennsylvania comenzaron las emisiones comerciales.

La banda lateral única se reconoció y comprendió matemáticamente a comienzos de 1914; sin embargo, en 1923 se otorgó la primera patente.

La banda de frecuencia empleada por los primeros radioaficionados así como por las primeras estaciones fue la Frecuencia Media. Como consecuencia, las primeras reglamentaciones relacionadas con la radio utilizaron esta banda de frecuencias como la base para la adjudicación de licencias a las emisoras.

La razón de esta elección no fue política, sino simplemente técnica: todavía no se había desarrollado la tecnología necesaria para el empleo de frecuencias superiores a la MF. De la misma manera se designó la modulación en amplitud (AM) como la manera estándar de incorporar información a una radiofrecuencia portadora con fines de comunicación por radio. Aunque la modulación en frecuencia ya se conocía experimentalmente, en el decenio de los veinte se pensaba que no tenía una aplicación directa en la comunicación por radio.

Si a comienzos de los veinte la potencia media de las emisoras alcanzaba escasamente los 100 [W], a finales de la década se había incrementado a casi 5,000 [W]. El incremento de la audiencia potencial fue otro elemento importante en el desarrollo de la radio, pero necesitaba otro factor, la mejora de los receptores, para convertirse realmente en un medio masivo.

La accesibilidad de la radio al gran público se consiguió a finales del decenio de los veinte por medio de la mejora en la calidad y el precio de los aparatos receptores. Los primitivos receptores (con auriculares, baterías y sintonización por medio de tres diales), dieron paso a aparatos de mayor calidad donde los auriculares fueron suplantados por altavoces, el triple dial se redujo a uno sólo de fácil manejo, se suprimieron las baterías en favor de la conexión a la red, y se mejoraron los circuitos produciendo una mayor fidelidad de reproducción. Las mejoras en la tecnología de recepción, los altavoces, hicieron posible una audición colectiva (en contraste con la individualizada de los auriculares), y el abaratamiento de los aparatos receptores sirvió de base para convertir a la radio en un importante medio de comunicación.

Los primeros treinta años de la radio (hasta el decenio de los cincuenta, en el siglo XX) están fuertemente unidos a la onda media. Las limitaciones y ventajas de la tecnología propia de la AM, propagación en la banda de media frecuencia y modulación en amplitud, han constituido las bases sobre las que se asienta una manera de entender la radio, un concepto fundamentado sobre una audición atenta del oyente y una minusvaloración de la fidelidad en la transmisión. La modulación en frecuencia, años más tarde, rompió este monopolio de conceptuar la radio dando paso a un medio de compañía y de alta fidelidad.

El receptor sintonizado a radiofrecuencia fue uno de los primeros tipos de receptores de AM y se utilizó extensamente hasta mediados de los años cuarentas del siglo pasado. Reemplazó a los receptores anteriores de tipo superregenerativo y de cristal. Su desventaja principal es que su selectividad varía cuando se sintoniza sobre un rango amplio de frecuencias de entrada. Su selectividad no uniforme condujo al desarrollo del receptor superheterodino cerca del final de la Primera Guerra Mundial.

En 1948, el transistor fue inventado en los laboratorios Bell por William Shockley, Walter Brattain y John Bardeen. El transistor llevó al desarrollo y refinamiento del circuito integrado en la década de 1960.

Los primeros transmisores de potencia media y alta estaban limitados a los que usaban tubos de vacío para los dispositivos activos. Sin embargo, desde la mitad de la década de 1970, los transmisores con componentes de estado sólido han estado disponibles con potencias de salida tan altas como varios miles de watts. Por lo que se pudieron mejorar algunas deficiencias de los moduladores de AM de tubo de vacío como la necesidad de utilizar fuentes de voltajes de cd más altos, amplitudes de la señal modulante muy altas y mejoras de los recursos ya que los tubos de vacío ocupan mucho más espacio y peso que sus contrapartes sólidas.

La tecnología actual de la radiodifusión de AM no difiere esencialmente de la existente en el decenio de los veinte. Naturalmente, se han desarrollado nuevas mejoras pero lo fundamental perdura. Los adelantos más significativos se centran en la composición de los transmisores que son actualmente más eficientes, estables y fáciles de operar; en el moderno diseño de las antenas que permiten el empleo de soportes blandos y de mayor direccionalidad; y finalmente en las nuevas técnicas de compresión de modulación en amplitud ( modulación de banda lateral única o con portadora suprimida) que facilitan un mejor aprovechamiento de los canales.

Los cambios más significativos de la AM no se relacionan con su tecnología sino con las técnicas de su funcionamiento. Así, ahora es frecuente una separación física entre la producción (estudios) y la transmisión (transmisor y antena), unidos por líneas telefónicas o por medio de enlaces de microondas estudio-emisor para su control y monitorización. En cuanto a las innovaciones tecnológicas de la AM, la más destacable es la posibilidad de emitir en estereofonía, característica hasta hace poco restringida exclusivamente a la FM.

## 1.2 Bandas Atribuidas a la Radiodifusión Sonora de AM

En las Regiones 1, 2 y 3 de la ITU tenemos la siguiente atribución:

Región 1 Frecuencias [kHz]	Región 2 Frecuencias [kHz]	Región 3 Frecuencias [kHz]
255 - 283.5	525-1705	526.5 -1 606.5
148.5 -255	2 300-2 495	2 300 -2 495
526.5 -1 606.5	3 200 - 3 400	3 200 -3 400
3 200 - 3 400	4 750 - 4 995	3 900 -4 000
3 950 - 4 000	5 005 - 5 060	4 750 -4 995
4 750 - 4 995	5 900 - 6 200	5 005 -5 060
5 005 - 5 060	7 300 - 7 350	5 900 -6 200
5 900 - 6 200	9 400 - 9 900	7 100 -7 350
7 100 - 7 300	11 600 -12 100	9 400 - 9 900
9 400 - 9 900	13 570 -13 870	11 600 - 12 100
11 600 -12 100	15 100 -15 800	13 570 - 13 870
13 570 -13 600	17 480 -17 900	15 100 - 15 800
15 100 -15 600	18 900 -19 020	17 480 - 17 900
21 450 -21 850	21 450 -21 850	18 900 - 19 020
25 670 -26 100	25 670 -26 100	21 450 - 21 850
		25 670 - 26 100

Tabla 1.1 Bandas Para Radiodifusión Sonora de AM

Teniendo en cuenta las limitaciones legales:

**S5.68 Atribución sustitutiva:** en Angola, Botswana, Burundi, Congo, Malawi, Rep. Dem. del Congo, Rwanda y República Sudafricana, la banda 160 – 200 [kHz] está atribuida, a título primario, al servicio fijo.

**S5.69 Atribución adicional:** en Somalia, la banda 200 – 255 [kHz] está también atribuida, a título primario, al servicio de radionavegación aeronáutica.

**S5.70 Atribución sustitutiva:** en Angola, Botswana, Burundi, Camerún, República Centroafricana, Congo, Etiopía, Kenya, Lesotho, Madagascar, Malawi, Mozambique, Namibia, Nigeria, Omán, Rep. Dem. del Congo, Rwanda, República Sudafricana, Swazilandia, Tanzania, Chad, Zambia y Zimbabwe, la banda 200 – 283.5 [kHz] está atribuida, a título primario, al servicio de radionavegación aeronáutica.

**S5.86** En la Región 2, en la banda 525 – 535 [kHz], la potencia de la portadora de las estaciones de radiodifusión no deberá exceder de 1 [kW] durante el día y de 250 [W] durante la noche.

**S5.87 Atribución adicional:** en Angola, Botswana, Lesotho, Malawi, Mozambique, Namibia, República Sudafricana, Swazilandia, Zambia y Zimbabwe, la banda 526.5 – 535 [kHz] está también atribuida, a título secundario, al servicio móvil.

**S5.87A Atribución adicional:** en Uzbekistán, la banda 526.5 – 1 606.5 [kHz] está también atribuida, a título primario, al servicio de radionavegación. Esta utilización está sujeta al acuerdo obtenido en virtud del número S9.21 con las administraciones pertinentes y está limitada a las radiobalizas en tierra que se encuentren en servicio el 27 de octubre de 1997, hasta el final de su vida útil.(CMR-97)

**S5.88 Atribución adicional:** en China, la banda 526.5 – 535 [kHz] está también atribuida, a título secundario, al servicio de radionavegación aeronáutica

**5.89** En la Región 2, la utilización de la banda 1 605 – 1 705 [kHz] por las estaciones del servicio de radiodifusión está sujeta al Plan establecido por la Conferencia Administrativa Regional de Radiocomunicaciones (Río de Janeiro, 1988).

El examen de las asignaciones de frecuencia a estaciones de los servicios fijo y móvil en la banda 1 625 – 1 705 [kHz], tendrá en cuenta las adjudicaciones que aparecen en el Plan establecido por la Conferencia Administrativa Regional de Radiocomunicaciones (Río de Janeiro, 1988).

**S5.90** En la banda 1 605 – 1 705 [kHz], cuando una estación del servicio de radiodifusión de la Región 2 resulte afectada, la zona de servicio de las estaciones del servicio móvil marítimo en la Región 1 se limitará a la determinada por la propagación de la onda de superficie.

**S5.113** Para las condiciones de utilización de las bandas 2 300 – 2 495 [kHz] (2 498 [kHz] en la Región 1), 3 200 – 3 400 [kHz], 4 750 – 4 995 [kHz] y 5 005 – 5 060 [kHz] por el servicio de radiodifusión, véanse los números S5.16 a S5.20, S5.21 y S23.3 a S23.10.

**S5.116** Se ruega encarecidamente a las administraciones que autoricen la utilización de la banda 3 155 – 3 195 [kHz] para proporcionar un canal común mundial destinado a los sistemas de comunicación inalámbrica de baja potencia para personas de audición deficiente. Las administraciones podrán asignar canales adicionales a estos dispositivos en las bandas comprendidas entre 3 155 [kHz] y 3 400 [kHz] para atender necesidades locales. Conviene tener en cuenta que las frecuencias en la gama de 3 000 [kHz] a 4 000 [kHz] son adecuadas para los dispositivos de comunicación para personas de audición deficiente concebidos para funcionar a corta distancia dentro del campo de inducción.

**S5.118** *Atribución adicional:* en Estados Unidos, Japón, México, Perú y Uruguay, la banda 3 230 – 3 400 [kHz] está también atribuida, a título secundario, al servicio de radiolocalización.

**S5.126** En la Región 3, las estaciones de los servicios a los que se atribuye la banda 3 995 – 4 005 [kHz] podrán transmitir frecuencias patrón y señales horarias

**S5.134** La utilización de las bandas 5 900 – 5 950 [kHz], 7 300 – 7 350 [kHz], 9 400 – 9 500 [kHz], 11 600 – 11 650 [kHz], 12 050 – 12 100 [kHz], 13 570 – 13 600 [kHz], 13 800 – 13 870 [kHz], 15 600 – 15 800 [kHz], 17 480 – 17 550 [kHz] y 18 900 – 19 020 [kHz] por el servicio de radiodifusión está limitada a las emisiones en banda lateral única con las características especificadas en el apéndice S11 o a cualquier otra técnica de modulación recomendada por el UIT-R que garantice una utilización eficaz del espectro. El acceso a estas bandas estará sujeto a las decisiones de una Conferencia competente. (CMR-97)

**S5.136** La banda 5 900 – 5 950 [kHz] está atribuida, hasta el 1 de abril de 2007, al servicio fijo a título primario, así como a los servicios siguientes: en la Región 1 al servicio móvil terrestre a título primario, en la Región 2 al servicio móvil salvo móvil aeronáutico (R) a título primario, y en la Región 3 al servicio móvil salvo móvil aeronáutico (R) a título secundario, a reserva del procedimiento descrito en la Resolución 21 (Rev.CMR-95). Después del 1 de abril de 2007, las frecuencias de esta banda podrán ser utilizadas por estaciones de los servicios antes mencionados, estableciéndose comunicación sólo dentro del país en que están situadas, a condición de que no se cause interferencia perjudicial al servicio de radiodifusión. Cuando utilicen frecuencias para estos servicios, se insta a las administraciones a utilizar la mínima potencia necesaria y a tener en cuenta la utilización estacional de frecuencias por el servicio de radiodifusión publicada de conformidad con el Reglamento de Radiocomunicaciones

**S5.146** Las bandas 9 400 – 9 500 [kHz], 11 600 – 11 650 [kHz], 12 050 – 12 100 [kHz], 15 600 – 15 800 [kHz], 17 480 – 17 550 [kHz] y 18 900 – 19 020 [kHz] están atribuidas al servicio fijo a título primario hasta el 1 de abril de 2007, a reserva del procedimiento descrito en la Resolución 21 (Rev.CMR-95). Después del 1 de abril de 2007, las frecuencias de estas bandas podrán ser utilizadas por las estaciones en el servicio fijo, estableciéndose comunicación sólo dentro del país en que están situadas, a condición de que no se cause interferencia perjudicial al servicio de radiodifusión. Cuando utilicen frecuencias para el servicio fijo, se insta a las administraciones a utilizar la mínima potencia necesaria y a tener en cuenta la utilización estacional de frecuencias por el servicio de radiodifusión publicada de conformidad con el Reglamento de Radiocomunicaciones

**S5.147** A condición de no causar interferencia perjudicial al servicio de radiodifusión, las frecuencias de las bandas 9 775 – 9 900 [kHz], 11 650 – 11 700 [kHz] y 11 975 – 12 050 [kHz] podrán ser utilizadas por estaciones del servicio fijo que comuniquen únicamente dentro de las fronteras nacionales, no rebasando cada estación una potencia radiada total de 24 dBW

**S5.151** Las bandas 13 570 – 13 600 [kHz] y 13 800 – 13 870 [kHz] están atribuidas, hasta el 1 de abril de 2007, al servicio fijo a título primario y al servicio móvil salvo móvil aeronáutico (R) a título secundario, a reserva del procedimiento descrito en la Resolución 21 (Rev.CMR-95). Después del 1 de abril de 2007, las frecuencias de estas bandas podrán ser utilizadas por las estaciones de los servicios antes mencionados, estableciéndose comunicación sólo dentro del país en que están situadas, a condición de que no se cause interferencia perjudicial al servicio de radiodifusión. Cuando utilicen frecuencias para estos servicios, se insta a las administraciones a utilizar la mínima

potencia necesaria y a tener en cuenta la utilización estacional de frecuencias por el servicio de radiodifusión publicada de conformidad con el Reglamento de Radiocomunicaciones

### México.

Para México la banda de frecuencias es desde 535 hasta 1705 [kHz].

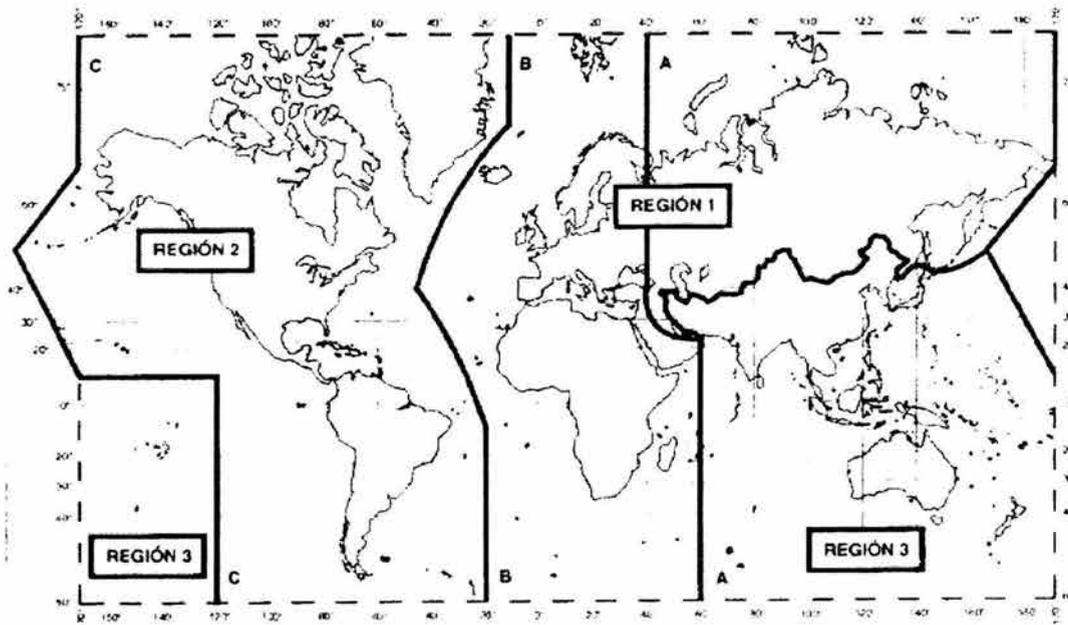


Fig.1.1 Regiones de la UIT

### 1.3 Características de Propagación de las Señales de Radiodifusión Sonora en AM

Las bandas atribuidas para la radiodifusión sonora de AM sirven a una amplia gama de propósitos, aprovechándose de las características de los dos modos de la propagación en estas frecuencias: ondas terrestres y ondas del cielo.

Las asignaciones de frecuencia de la radiodifusión sonora en AM se precisan en las regulaciones de radio internacionales, siendo revisadas en las conferencias de la radio del mundo. Y existen algunas variaciones según la parte del mundo.

#### Ondas Largas

La banda que difunde las frecuencias bajas (LF) proporcionar una gran cobertura para las ondas de tierra con un solo transmisor, y es así muy útil para la cobertura nacional y más allá. La longitud de onda larga implica estructuras grandes para la antena del transmisor, así que esta banda normalmente se utiliza solamente donde se desea un área grande de la cobertura y puede de tal modo justificar la inversión en la antena. La existencia de parásitos atmosféricos produce una mediocre calidad sonora. Esta banda es muy popular en Europa, pero no está disponible para radiodifusión en América.

#### Ondas medias

La banda de frecuencia asignada para las emisiones de radiodifusión sonora en AM que se encuentra dentro de la frecuencia media está disponible a través del mundo y tiene una amplia gama de aplicaciones. Durante el día la propagación se realiza por onda terrestre con coberturas del orden del centenar de kilómetros. Durante el día la capa D presenta una fuerte absorción en

esta banda de frecuencias por lo que no es posible la reflexión ionosférica. Por la noche, cuando la capa D desaparece, se produce una propagación por reflexión ionosférica en la capa E con alcances del orden de los 1000 [km]. La propagación ionosférica presenta desvanecimientos rápidos por modificaciones locales de las condiciones ionosféricas. Por otra parte, estos alcances nocturnos extraordinarios están sujetos a interferencias por estaciones próximas al receptor que comparten la misma frecuencia. En estas bandas los parásitos atmosféricos son una fuente importante de ruido.

### Ondas Cortas

La banda de alta frecuencia (HF) está sobre todo para facilitar la difusión internacional, usando la onda de cielo. Varias bandas de HF están disponibles para difundir, alrededor de 4-26 [MHz]. Con 5 [kHz] de espacio entre los canales. Además, algunas bandas en el extremo de baja frecuencia de la banda de HF, alrededor 2, 3 y 5 [MHz], están reservadas para el uso por los países en las zonas tropicales para su difusión nacional.

El extremo de la banda de onda corta (SW) también se utiliza para proporcionar la cobertura nacional de países tropicales o grandes. Ambos usos confían en la propagación de la onda de cielo y dependen así del estado de la ionosfera, que cambia diario, anualmente y según el ciclo de la mancha solar 11 años con algunas variaciones al azar lanzadas adentro. Por esta razón, el uso de la banda de HF implica, en la radiodifusión, cambios de la frecuencia durante el día, y así en el curso de una difusión a menos que el número de horas que difunden sea corta. Además, las incertidumbres en el pronóstico, junto con el hecho de que un país grande puede requerir diversos modos de la propagación para alcanzar sus metas, significan que el uso de dos o más frecuencias en paralelo es común.

### Propagación de las Ondas de Tierra

Una onda de tierra es una onda electromagnética que viaja por la superficie de la Tierra. Por tanto, a las ondas de tierra a veces se les llama ondas superficiales. Las ondas de tierra deben estar polarizadas verticalmente. Esto debido al campo eléctrico, en una onda polarizada horizontalmente estaría paralela a la superficie de la Tierra, y dichas ondas harían cortocircuito por la conductividad de la Tierra. Con las ondas de tierra, el campo eléctrico variante induce voltajes en la superficie de la Tierra, que causan que fluyan corrientes que son muy similares a las de una línea de transmisión. La superficie de la Tierra también tiene resistencias y pérdidas dieléctricas. Por lo tanto, las ondas de tierra se atenúan conforme se propagan. Las ondas de tierra se propagan mejor sobre una superficie que sea un buen conductor, como el agua salada, y áreas desérticas muy áridas. Las pérdidas de ondas de tierra se incrementan rápidamente con la frecuencia. Por lo tanto, la propagación de las ondas de tierra se limita generalmente a frecuencias por debajo de los 2 [MHz].

La atmósfera de la Tierra tiene un gradiente de densidad (que se reduce gradualmente con la distancia a la superficie de la Tierra) que hacen que el frente de onda se incline progresivamente hacia delante. Por lo tanto, la onda de tierra se propaga alrededor de la Tierra, permaneciendo cerca de la superficie y si se transmite suficiente potencia, el frente de onda podría propagarse más allá del horizonte o hasta alrededor de la circunferencia completa de la Tierra. Sin embargo, se debe tener cuidado al seleccionar la frecuencia y el terreno sobre el cual se propagará la onda de tierra para asegurarse que el frente de onda no se incline excesivamente y simplemente, se voltee, permanezca plana sobre la tierra y cese de propagarse.

Las desventajas de la propagación de las ondas de tierra son las siguientes:

- Las ondas de tierra requieren de potencia relativamente alta para su transmisión.
- Las ondas de tierra están limitadas a frecuencias muy bajas, bajas y medias por lo que requieren antenas muy grandes.
- Las pérdidas por tierra varían considerablemente con el material de la superficie.

Las ventajas de la propagación de las ondas de tierra son las siguientes:

- Dan suficiente potencia de transmisión, las ondas de tierra se pueden utilizar para comunicar entre dos ubicaciones cualesquiera en el mundo.
- Las ondas de tierra no se ven afectadas por los cambios de las condiciones atmosféricas.

### Propagación de Ondas del Cielo

Las ondas electromagnéticas que se dirigen por encima del nivel de horizonte se llaman ondas de cielo. Típicamente, las ondas de cielo se irradian en una dirección que produce un ángulo relativamente grande, con referencia a la Tierra. Las ondas de cielo se envían hasta el cielo, donde son reflejadas o refractadas nuevamente a Tierra por la ionosfera. La ionosfera es la región del espacio localizada aproximadamente de 50 a 400 [km] arriba de la superficie de la Tierra. La ionosfera es la porción más alta de la atmósfera de la Tierra. Por lo tanto, absorbe grandes cantidades de energía radiante del sol, que ioniza las moléculas del aire, creando electrones libres. Cuando una onda de radio pasa a través de la ionosfera, el campo eléctrico de la onda ejerce una fuerza en los electrones libres, haciéndolos que vibren. Los electrones vibrantes reducen la corriente que es equivalente a reducir la constante dieléctrica. Reducir la constante dieléctrica incrementa la velocidad de propagación y hace que las ondas electromagnéticas se doblen alejándose de las regiones de alta densidad de electrones, hacia regiones de baja densidad de electrones (o sea incrementando la refracción). Conforme la onda se mueve más lejos de la Tierra, se incrementa la ionización; sin embargo, hay menos moléculas de aire para ionizar. Por lo tanto, en la atmósfera, más alta, hay un porcentaje más elevado de moléculas ionizadas que en la atmósfera más baja. Entre más alta sea la densidad de los iones, mayor la refracción. Además debido a que la composición de la atmósfera no es uniforme y a las variaciones de su temperatura y densidad, está estratificada. Esencialmente, la ionosfera está compuesta de tres capas ( las capas D, E y F ). Las tres capas varían en ubicación y en densidad de ionización, con la hora del día. También fluctúan en un patrón cíclico todo el año y de acuerdo con el ciclo de manchas solares de 11 años. La ionosfera es más densa en las horas de luz solar.

**Capa D:** La capa D es la capa inferior de la ionosfera y se localiza entre 30 y 60 millas (50 a 100 [km]) arriba de la superficie de la Tierra. Debido a que es la capa más lejana del sol, hay muy poca ionización en esta capa. Por tanto, la capa D tiene muy poco efecto en la dirección de propagación de las ondas de radio. Sin embargo, los iones de la capa D pueden absorber cantidades apreciables de energía electromagnética. La cantidad de ionización de la capa D depende de la luz de la luz del Sol sobre el horizonte. Por consiguiente, desaparece de noche. La capa D refleja ondas VLF y LF y absorbe ondas MF y HF.

**Capa E:** La capa E se localiza entre 100 a 140 [km] arriba de la superficie de la Tierra. La capa E se llama a veces capa Kennelly-Heaviside, en honor a los dos científicos que la descubrieron. La capa E tiene su mayor densidad a mediodía, cuando el Sol se encuentra en su punto máximo. Así la luz del Sol en la capa E casi desaparece totalmente en la noche. La capa E auxilia a la propagación de ondas de superficie MF y refleja ondas HF un poco durante el día. La parte superior de la capa E a veces se considera por separado y se le llama capa E esporádica por que parece que va y viene en forma imprevisible. La capa E esporádica la causan la actividad de las manchas solares y estallidos solares. La capa E esporádica es una capa delgada con una densidad de ionización muy alta. Cuando aparece por lo general hay una mejora inesperada en las transmisiones de radio de larga distancia.

**Capa F:** La capa F está realmente hecha de dos capas F1 y F2. Durante el día, la capa F1 se localiza entre 140 a 250 [km], arriba de la superficie de la Tierra y la capa F2 de los 250 [km] en adelante. Durante la noche, la capa F1 se combina con la F2, para formar una sola capa. La capa F1 absorbe y atenúa algunas ondas HF, aunque la mayoría de las ondas pasan a través de la capa F2, cuando se refractan nuevamente a la Tierra.

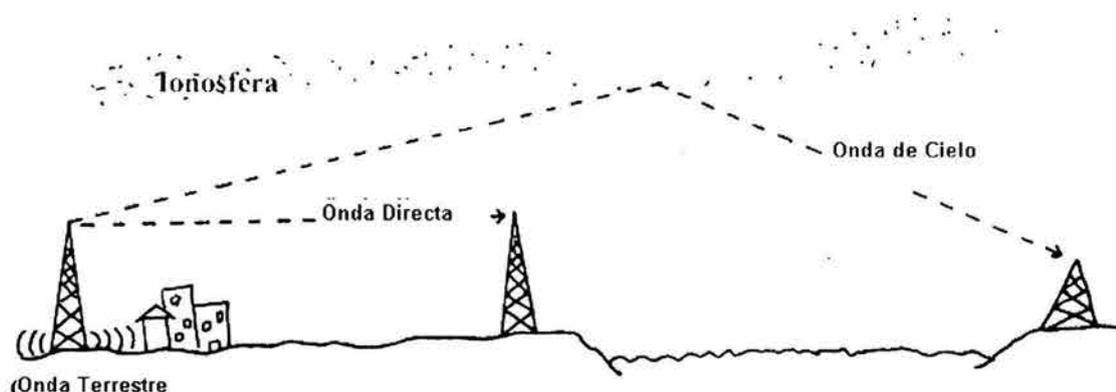


Fig. 1.2 Trayectorias de Propagación

#### 1.4 Normas técnicas

En México la NOM-01-SCT1-93 establece las especificaciones de carácter técnico que deben cumplir las estaciones de radiodifusión sonora moduladas en amplitud que operen en la banda de 535 a 1605 [kHz], a fin de proporcionar un servicio eficiente de calidad.

##### ➤ Disposiciones para la emisión:

#### Sistemas monofónicos

**Clase de Emisión:** Modulación de amplitud, doble banda lateral con portadora completa; A3E. Las clases de emisión diferentes a la A3E, para acomodar sistemas estereofónicos, pueden utilizarse también con la condición de que el nivel de potencia fuera de la anchura de banda necesaria no exceda el normalmente previsto en la emisión A3E y que la emisión pueda ser recibida por receptores que utilicen detectores de envolvente sin aumentar de manera apreciable el nivel de distorsión

**Anchura de Banda de la Emisión:** Las estaciones deben utilizar una anchura de banda de emisión hasta 20 [kHz], lo que permite obtener una anchura de banda de audiofrecuencia de 10 [kHz], de conformidad con lo establecido en el apartado 5.1.16 relativo a la Anchura de Banda y Preénfasis de Audiofrecuencias.

NOTA: En razón de la aplicación del criterio de anchura de banda de la emisión de 20 [kHz], las características de operación de los canales extremos de la banda, quedarán sujetas a la autorización de la S.C.T.

**Separación entre los Canales:** La separación entre canales es de 10 [kHz]; las frecuencias portadoras deben ser múltiplos enteros de 10 [kHz], desde 540 hasta 1600 [kHz].

**Identificación de Canales:** Los 107 canales de la banda normal, se identifican por su frecuencia portadora.

**Porcentaje de Modulación:** En ningún caso debe exceder del 100% en picos negativos y del 125% en picos positivos.

### Potencia de Operación:

**Estación Clase "A".** Una estación clase "A" debe tener una potencia que no exceda de 100 [kW] de día o 50 [kW] de noche. La potencia mínima de la estación debe ser de 10 [kW].

**Estación Clase "B".** La potencia máxima de la estación debe ser 50 [kW]. La potencia mínima de la estación debe ser mayor de 1 [kW].

**Estación Clase "C".** La potencia máxima de la estación será de 1 [kW].

**Tolerancia de potencia de la estación.** La potencia de la estación no debe ser superior al 10% o inferior al 15% de la potencia autorizada, exceptuándose los casos de emergencia previstos en el artículo 47 de la Ley Federal de Radio y Televisión. En el caso de estaciones que operan con dos potencias, cuya relación entre ellas sea superior a 10 veces y que, el equipo transmisor sea de bulbos, invariablemente deben utilizarse transmisores separados para cada una de las potencias.

**Tolerancia de Frecuencia.** La máxima desviación de frecuencia admisible para la portadora será de  $\pm 10$  [Hz].

**Distorsión armónica de audiofrecuencia.** La distorsión armónica total de audiofrecuencia desde las terminales de entrada de audio del transmisor, hasta la salida del mismo, no excederá del 5% cuando se modula hasta el 84%, y no más del 7.5% cuando se modula hasta el 95% (la distorsión se medirá con frecuencias de 50, 100, 400, 1000, 5000, 7500 y 9500 Hz).

**Nivel de ruido de la portadora.** El nivel de ruido de la portadora, en la gama de frecuencias de 50 a 9500 [Hz], debe estar por lo menos 45 [dB] abajo del nivel que produce una señal senoidal de 400 [Hz] que modula la portadora al 95%.

**Anchura de banda de audiofrecuencias.** Todas las estaciones de radiodifusión sonora moduladas en amplitud, deben modular sus transmisiones con una anchura de banda de audio cuyo límite espectral a partir de 10 [kHz] se describe a continuación:

A 10 [kHz] debe tener un nivel de -15 [dB], aumentando la atenuación en forma continua hasta -30 [dB] a 10.5 [kHz], permaneciendo en -30 [dB] hasta 11 [kHz], en donde debe reducirse a -40 [dB]; a partir de 11 [kHz], la atenuación aumentará en forma continua para alcanzar -50 [dB] en 15 [kHz].

### Sistemas Estereofónicos.

**Compatibilidad RF.** El sistema estereofónico AM, debe ser compatible con el sistema actual monofónico, con respecto a las relaciones de protección contra interferencia y el plan de asignación de canales

**Anchura de banda ocupada.** Las emisiones provenientes de un sistema de radiodifusión estereofónico AM, compuestos de una portadora y sus productos de modulación asociados, deben estar contenidas en frecuencias dentro de una gama de  $\pm 10$  [kHz] con respecto a la portadora.

**Emisiones no esenciales.** Las emisiones no esenciales, con respecto a la portadora sin modular, deben atenuarse:

de 10 a 20 [kHz] - 25 [dB]

de 20 a 30 [kHz] - 35 [dB]

de 30 a 75 [kHz] - 35 [dB] menos 1 [dB/kHz]

de 75 [kHz] en adelante - 80 [dB] para Transmisores con potencias hasta de 5 [kW].

Para potencias mayores de 5 [kW], se debe considerar el valor que resulte de aplicar la expresión:  
 $dB = 43 + 10 \log P [W]$

**Comportamiento estereofónico.** El sistema de transmisión de radiodifusión estereofónica de AM, debe estar constituido por los equipos, dispositivos y circuitos, comprendidos desde la salida izquierda y derecha del amplificador procesador de audio, hasta la salida del transmisor. Los requerimientos de comportamiento, deben cumplirse para cada canal de manera independiente, utilizando un monitor de modulación estereofónica, para su verificación.

**Respuesta de audiofrecuencia.** La respuesta en frecuencia, tanto de canal izquierdo como derecho debe permanecer dentro de 2 [dB] con respecto a la referencia de 1 [kHz], dentro de la gama de 0 al 95% de modulación del sistema estereofónico izquierdo o derecho (la respuesta se medirá con frecuencias de 50, 100, 400, 1000, 5000, 7500 y 9500 [Hz]).

**Distorsión armónica de audiofrecuencia.** La distorsión armónica total, medida de manera separada en cada canal, no debe exceder del 5% cuando el sistema estereofónico se modula hasta el 95% (la distorsión se medirá con frecuencias de 50, 100, 400, 1000, 5000, 7500 y 9500 [Hz]).

**Nivel de ruido de la portadora.** El nivel de ruido en ambos canales para frecuencias de audio abajo de 9.5 [kHz], debe ser atenuado como mínimo 45 [dB] respecto al nivel de referencia de 400 [Hz] para el 95% de modulación

**Balance de canal.** El balance entre el nivel de salida en los canales izquierdo y derecho debe estar dentro de 1 [dB] desde 50 [Hz] hasta 9.5 [kHz], a todos los niveles de modulación hasta el 95%.

**Separación Estereofónica.** La separación entre los canales izquierdo y derecho debe ser cuando menos de 20 [dB] en la gama de frecuencias de 50 [Hz] hasta 9.5 [kHz] a todos los niveles de modulación hasta el 95%.

#### **Sistemas de transmisión:**

**Transmisores.** El equipo transmisor debe contar con los instrumentos de medición indispensables para comprobar sus parámetros de operación.

El transmisor estará equipado con dispositivos para el control de la frecuencia y potencia autorizadas dentro de los límites normalizados.

La instalación y operación de equipos transmisores donde se apliquen nuevas tecnologías para la estabilidad de potencia y frecuencia debe contar con una evaluación de la SCT

**Transmisores Auxiliares.** Se deben instalar en la misma ubicación del transmisor principal y sus características serán esencialmente iguales a las del principal en lo referente a potencia y frecuencia pudiéndose utilizar indistintamente

**Transmisores de emergencia.** Podrán instalarse en la ubicación del transmisor principal pero con una potencia inferior a la de éste.

Podrán instalarse en otra ubicación con una autorización de la SCT, en cuyo caso la potencia no excederá los 1000 [W]

**Cambio de equipo de Transmisores.** Cuando sea necesario realizar cambios de equipo los mecanismos empleados para dicho propósito deberán operarse por medio de dispositivos que al igual que el resto del equipo cumplan con los requisitos de protección y seguridad

**Cambios de Potencia.** En caso de que el cambio de potencia se realice en los sistemas de energía eléctrica se debe contar también con interruptores automáticos, principalmente cuando existan líneas de alta tensión.

Al realizar cambios de potencia en los equipos transmisores éstos no deben sufrir alguna variación en su ajuste; en caso que se necesite controlar la señal de excitación, este control se efectuara por dispositivos eléctricos y no en forma manual.

## Sistemas de Radiación Antenas.

Todas las estaciones de radiodifusión sonora en la banda de 535-1605 [KHz], deben utilizar antenas verticales, para cualquier otra configuración será necesaria una autorización de la SCT

Clase de estación	Intensidad de campo característico [mV/m] Valor mínimo a 1 [Km]
A	362
B	282
C	241

*Tabla 1.2 Disposiciones generales (intensidad de campo en las estaciones)*

**Modificaciones en la forma de radiación.** Las estaciones que necesiten realizar cambios de líneas de alimentación en antenas, sistemas de acoplamiento de antenas o de arreglos de antenas deben contar con sistemas de control remoto y no serán accionados manualmente los dispositivos de cambio, debiendo cumplir con las condiciones de blindaje, protección y seguridad

**Ubicación.** La ubicación de un sistema radiador de una estación que opera con una potencia mayor a 1000 W, debe ser tal que la población incluida en el contorno de 1 [V/m] no exceda el 1% de la población a servir. O de la contenida en el contorno de 25mV/m. El nivel de campo eléctrico mínimo debe ser de 25 [mV/m] (88 [dB]) y para poblaciones con más de 10 millones de habitantes será de 10 [mV/m] (80 [dB]).

**Sistemas de tierra.** Se deberá instalar un sistema de radiales aterrizados, con un mínimo de 90 radiales de alambre de cobre con un diámetro de 2.05 [mm], como mínimo, espaciados uniformemente y cuya longitud puede variar con respecto a la longitud de la antena. Para proteger los radiales de daños mecánicos se deben enterrar una profundidad de 10 y 30 [cm].

## 2. Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada (FM)

### 2.1 Antecedentes Históricos

La modulación en amplitud había sido la forma tradicional de incorporar información a una radiofrecuencia desde los orígenes de la radiotelegrafía y radiotelefonía. La posibilidad de modular la información en frecuencia era técnicamente factible desde comienzos de siglo veinte, pero comenzó a aplicarse desde los años treinta gracias a los experimentos de Edwing Armstrong. Armstrong, a diferencia de sus predecesores, creía que la frecuencia modulada tenía una clara aplicación en la radiodifusión. Muy al contrario, consideraba que la modulación en frecuencia sería el eje de la futura revolución de la radio. Compartía la idea de David Sarnoff cuando había señalado que la radio para convertirse en un medio útil necesitaba un desarrollo tecnológico que evitase el ruido en la transmisión. Armstrong con la ayuda de la empresa RCA realizó en 1933 experimentos de transmisión en FM desde el "Empire State" de New York. En 1936 Armstrong (quien también desarrolló el receptor superheterodino) desarrolló el primer sistema con éxito de radio FM, y en julio de 1939, la primera radiodifusión de señales FM programada regularmente comenzó en Alpine, New Jersey.

### Nuevas tecnologías de la FM

**Multiplexación de señales relacionadas con la información principal.** En el sonido estereofónico, la estereofonía se caracteriza por ofrecer una calidad tridimensional al sonido; es decir, una reproducción parecida a la que se obtendría si se estuviese escuchando en directo. Un receptor estereofónico, en consecuencia, brinda al oyente un sonido con las características de profundidad y direccionalidad. Con relativa frecuencia se menciona que la estereofonía aplicada a

la radio sólo tiene sentido para la emisión de música de alta fidelidad, menospreciando, en consecuencia, su empleo para programas no musicales. Si bien es cierto que el sonido estereofónico tiene un mayor realce en programaciones musicales, su empleo tomado en espacios hablados ofrece al oyente una sensación de sonido en "vivo" digna de ser tenida en cuenta.

Para conseguir esta audición es preciso que cada oído reciba particularmente una porción de sonido de forma similar a las audiciones en directo. En consecuencia, para lograr un sonido estereofónico se necesita el empleo de dos canales separados en donde cada uno de ellos representa la audición individual de cada oído. Estos canales independientes son producidos en el emisor por el empleo de varios micrófonos y en el receptor son recreados por la existencia de dos altavoces.

Desde un punto de vista tecnológico, una señal estereofónica necesita una anchura de canal suficiente para transmitir dos subcanales de audio distintos y separados (los correspondientes al canal izquierdo y derecho), y el receptor debe estar diseñado especialmente y tener los circuitos precisos para procesar (demodular) separadamente los dos subcanales. Este proceso se realiza por medio de la técnica de multiplexación de frecuencia y es relativamente sencillo para los servicios de frecuencia modulada ya que cuenta con un canal suficientemente amplio como para transmitir simultáneamente dos informaciones separadas. Sin embargo, este método sencillo de transmitir sonido estereofónico tiene el inconveniente de que la señal de la emisora sólo pueda ser captada por aquellos receptores especialmente diseñados para recibir programación en estéreo. Dicho de otra manera, los receptores convencionales no podían percibir la señal de esa estación ni estereofónica ni monofónica. Como consecuencia, la mayoría de países obligan a las estaciones estereofónicas (algo similar ocurría con la onda media estereofónica) a seguir el principio de compatibilidad tecnológica que significa sencillamente que todas las señales (emisoras) puedan ser sintonizadas por cualquier aparato convencional (monofónico), independientemente de la tecnología que utilice para incrementar la calidad de transmisión (multiplexación), aunque estas mejoras sólo puedan ser disfrutadas con aparatos receptores especiales.

Para que la señal pueda ser recibida por los receptores monofónicos, es preciso que uno de los subcanales (a través de la tecnología de modulación en fase) sea modulada por ambas informaciones (izquierda y derecha), mientras el segundo subcanal lo es solamente con una de ellas (por ejemplo, la derecha). Cuando esta señal compleja es recibida por un receptor monofónico, sólo es demodulado el subcanal con ambas informaciones (los receptores monofónicos no tienen los circuitos necesarios para detectar una modulación en fase). Posteriormente esta señal es enviada a un amplificador común y posteriormente a un altavoz también común reproduciéndose como si fuese un sonido monofónico tradicional. Por el contrario, un receptor estereofónico detecta la modulación en fase del subcanal principal, demodula una de las informaciones y rechaza la otra (que se corresponde con la información que es transmitida por el segundo subcanal). De la misma manera otro circuito del receptor demodula la información correspondiente al segundo subcanal. Ambas señales son enviadas a distintos altavoces reproduciendo un sonido estereofónico. Además de estos dos subcanales, la emisión de sonido estereofónico necesita la transmisión de un tercer subcanal, llamado "piloto", que sirve para conectar la pequeña luz roja de los receptores que indica visiblemente la presencia de una señal estereofónica, y también sirve como una referencia electrónica que activa los circuitos de demodulación de fase del aparato receptor.

### **Multiplexación de señales independientes: comunicaciones subsidiarias.**

Por medio de la técnica de multiplexación, el ancho de banda de los canales de frecuencia modulada puede ser empleada también para la transmisión de informaciones no relacionadas con la radiodifusión, sino destinadas a públicos restringidos, empresas o personas individuales. Estos subcanales pueden emplearse para ofrecer música de fondo a empresas particulares ("muzak"), transmisión de textos (facsimil) y otros servicios individuales como pagos, control y distribución de información, etc. Estos servicios de las emisoras de FM no relacionados con la radiodifusión se

denominan genéricamente "comunicaciones subsidiarias". Para la sintonización de estos servicios se necesita un aparato receptor especial y el pago de una suscripción a la emisora.

La tecnología de estos servicios es parecida y más sencilla que la señalada anteriormente con respecto a la estereofonía. La sencillez del procedimiento se deriva de la no-obligatoriedad de una compatibilidad técnica con los receptores convencionales, lo que permite realizar una multiplexación completamente separada de las diferentes informaciones. Una emisora de FM que transmita una determinada comunicación subsidiaria, crea una portadora independiente dentro de un espacio libre del canal y la modula con la información deseada (se puede emplear cualquier tipo de modulación en estos servicios. La elección dependerá de la calidad que necesite el tipo de información que transmita). Este subcanal independiente no puede ser recibido por los receptores de radio convencionales (ni monos, ni estéreos) ya que no están diseñados para sintonizar la frecuencia de estos subcanales. De igual manera, los receptores especiales destinados para captar los servicios subsidiarios no pueden recibir las señales convencionales de radiodifusión. La necesidad de utilizar un receptor especial justifica el pago de una cuota o suscripción para su recepción.

Dentro de los servicios subsidiarios de la FM el de mayor proyección quizá sea la transmisión por un subcanal de material impreso o gráfico, es decir, el facsímil. Se entiende genéricamente por facsímil las técnicas y procesos de copia y reproducción a distancia de elementos visuales por medio de cable (telégrafo o teléfono) u ondas de radio. La tecnología básica de transmisión de facsímil a través de un canal de FM es por medio de multiplexación de frecuencias.

## 2.2 Bandas Atribuidas a la Radiodifusión Sonora de FM

En las Regiones 1, 2 y 3 de la ITU tenemos la siguiente atribución:

Región 1 Frecuencias [MHz]	Región 2 Frecuencias [MHz]	Región 3 Frecuencias [MHz]
87.5-108	88-108	87-108

Tabla 2.1 Bandas Para Radiodifusión Sonora de FM

Teniendo en cuenta las limitaciones legales:

**S5.190 Atribución adicional:** en Mónaco, la banda 87.5 – [88 MHz] está también atribuida, a título primario, al servicio móvil terrestre, a reserva de obtener el acuerdo indicado en el número S9.21. (CMR-97)

**S5.192 Atribución adicional:** en China y República de Corea, la banda 100 – 108 [MHz] está también atribuida, a título primario, a los servicios fijo y móvil. (CMR-97)

**S5.194 Atribución adicional:** en Azerbaiyán, Líbano, Siria, Kirguistán, Somalia y Turkmenistán, la banda 104 – 108 [MHz] está también atribuida, al servicio móvil, salvo móvil aeronáutico (R), a título secundario. (CMR-97)

### México.

Para México la banda de frecuencias es desde 88 [MHz] hasta 108 [MHz].

## 2.3 Características de Propagación de las Señales de Radiodifusión Sonora en FM

### Ondas Ultracortas

La banda de frecuencias asignada para la radiodifusión sonora en FM es la VHF. En esta banda la propagación se realiza por trayectos rectilíneos que se modifican por la refracción atmosférica. La difracción posibilita en ciertos casos la recepción sin visibilidad directa. La cobertura se encuentra limitada a algunas decenas de kilómetros, si bien en ciertas aplicaciones es posible obtener alcances del orden de los 300 [km] mediante difusión troposférica, ello a costa de emplear grandes

potencias de transmisión. Esta banda está libre de parásitos, por lo que se obtiene buena calidad de recepción.

### Propagación de ondas espaciales

La propagación de ondas espaciales incluye energía radiada que viaja unos cuantos kilómetros, en la parte inferior de la atmósfera de la Tierra. Las ondas espaciales incluyen ondas directas y reflejadas de tierra. Las ondas directas viajan esencialmente en línea recta, entre las antenas transmisoras y receptoras. La propagación de las ondas espaciales con ondas directas se llama comúnmente transmisión de línea de vista. Por tanto la propagación de ondas espaciales se limita por la curvatura de la tierra. Las ondas reflejadas a tierra son ondas reflejadas por la superficie de la tierra conforme se propagan, entre las antenas transmisora y receptora.

Puede verse que la intensidad de campo en la antena receptora depende de la distancia que hay entre las dos antenas (atenuación y absorción) y si las ondas directa y reflejada, están en fase (interferencia).

La curvatura de la tierra presenta un horizonte para la propagación de las ondas espaciales comúnmente llamado *radio de horizonte*. Debido a la refracción atmosférica, el radio de horizonte se extiende mas allá del horizonte óptico para la atmósfera estándar común. El radio horizonte es aproximadamente cuatro tercios del horizonte óptico. La troposfera causa la refracción, debido a cambios en su densidad, temperatura, contenido de agua, vapor y relativa conductividad. El radio horizonte puede alargarse simplemente alargando las antenas, transmisora o receptora (o ambas), por arriba de la superficie de la tierra, con torres o colocándolas arriba de montañas o edificios altos.

El radio horizonte para una sola antena se da como:

$$d = \sqrt{2h}$$

en donde d= radio horizonte(millas)

h= altura de la antena sobre el nivel del mar (pies)

Por lo tanto para una antena transmisora y receptora, la distancia entre las dos antenas es:

$$d = d_t + d_r$$

$$d = \sqrt{2h_t} + \sqrt{2h_r}$$

en donde d = distancia total (millas)

$d_t$  = radio horizonte para antena transmisora (millas)

$d_r$  = radio horizonte para antena receptora (millas)

$h_t$  = Altura de la antena transmisora (pies)

$h_r$  = Altura de la antena receptora (pies)

Debido a que las condiciones de la atmósfera más baja de la Tierra están sujetas a cambios, el grado de refracción puede variar con el tiempo. Una condición especial llamada *propagación de ducto* ocurre cuando la densidad de la atmósfera más baja es tal que las ondas electromagnéticas están atrapadas, entre ésta y la superficie de la Tierra. Las capas de la atmósfera actúan como un ducto y la onda electromagnética se puede propagar grandes distancias alrededor de la curvatura de la Tierra, dentro de este ducto.

### Principales problemas de propagación que se encuentran en la radiodifusión sonora en FM

La propagación de las señales de FM ocurre principalmente por onda directa o por la reflejada, para los receptores móviles, donde no hay trayectoria de línea de visión, la señal llega por la dispersión de la superficie en las construcciones de los alrededores y mediante la difracción sobre o alrededor de ella. Es decir, la energía llega a la antena de recepción por conducto de más de una trayectoria. Por tanto hablamos de un fenómeno de múltiples trayectorias, en las diversas ondas de radio entrantes llegan a su destino provenientes de diferentes direcciones y con diferentes retardos de tiempo.

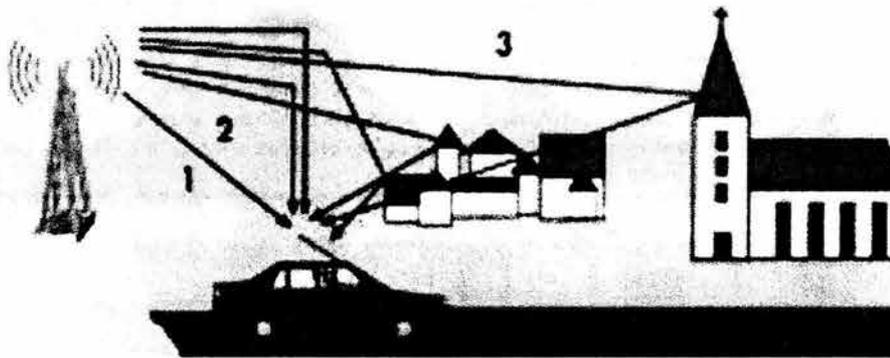


Fig. 2.1 Efecto Propagación Multitrayectoria

Consideremos un ambiente de multitrayectoria estático, que incluye un receptor estacionario y una señal transmitida. Supóngase que al receptor arriban en forma secuencial dos versiones atenuadas de la versión transmitida. El efecto de retardo de tiempo diferencial es introducir un corrimiento de fase relativo entre las dos componentes de la señal recibida. Es posible identificar uno de los dos casos que pueden surgir:

- El corrimiento de fase relativo es cero, en cuyo caso las dos componentes se suman constructivamente.
- El corrimiento de fase relativo es de  $180^\circ$ , en cuyo caso las dos componentes se suman destructivamente.

Considere a continuación un ambiente de multitrayectoria dinámico, en el que el receptor está en movimiento y las dos versiones de la señal llegan al receptor por trayectorias de longitudes diferentes. Debido al movimiento del receptor, hay un cambio continuo en la longitud de cada trayectoria de propagación. Por lo tanto el corrimiento de fase relativo entre las dos componentes de la señal recibida es una función de la ubicación espacial del receptor. Cuando este último se mueve, encontramos que la amplitud recibida no es constante, más bien varía con la distancia. La Fig.2.2 muestra adiciones constructivas y la cancelación completa en algunas ubicaciones. Este fenómeno se conoce como desvanecimiento de la señal.

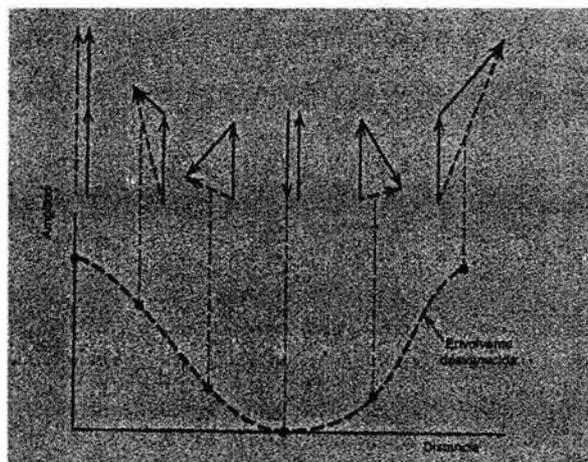


Fig.2.2 Desvanecimiento Debido a la Combinación de Diferentes Fases

El desvanecimiento de la señal es en esencia un fenómeno espacial que se manifiesta así en el tiempo cuando el receptor se mueve.

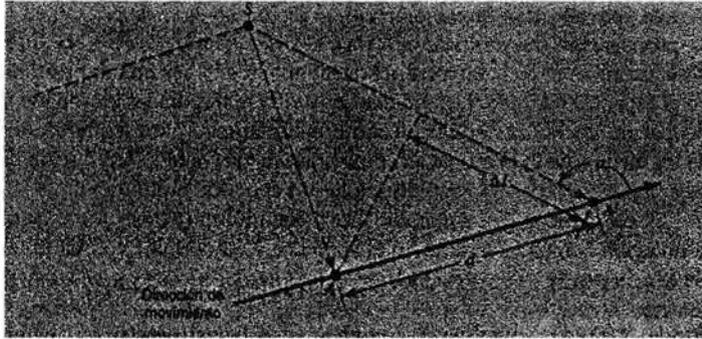


Fig.2.3 Corrimiento Doppler

Si suponemos que el receptor se está moviendo a lo largo de la línea AA' con una velocidad constante  $v$  y se considera también que la señal recibida que se debe a una onda de radio que proviene de un dispersor denominado S, dejemos que  $\Delta t$  denote el tiempo que tarda el receptor en moverse del punto A al A'. Se deduce que el cambio incremental en la longitud de la trayectoria de la onda de radio corresponde a:

$$\Delta \ell = d \cos \alpha = -v \Delta t \cos \alpha$$

donde  $\alpha$  es el ángulo espacial entre la onda de radio entrante y la dirección del movimiento del receptor. De forma correspondiente, el cambio en el ángulo de fase de la señal recibida en el punto A' con respecto al punto A está dado por

$$\Delta \phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta \ell = -\frac{2\pi v \Delta t}{\lambda} \cos \alpha$$

donde  $\lambda$  es la longitud de onda de la señal de radio. El cambio manifiesto en la frecuencia, o el corrimiento Doppler, es entonces:

$$f = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = -\frac{v}{\lambda} \cos \alpha$$

El corrimiento de Doppler  $f$  es positivo (dando lugar a un aumento de frecuencia) cuando las ondas de radio arriban provenientes del frente de la unidad móvil y es negativo cuando las ondas de radio arriban provenientes de la parte trasera de la unidad móvil.

## 2.4 Normas técnicas

En México la NOM-02-SCT1-93 establece las especificaciones de carácter técnico que deben cumplir las estaciones de radiodifusión sonora con portadora principal modulada en frecuencia que operen en la banda de 88 a 108 [MHz], a fin de proporcionar un servicio eficiente y de calidad.

### ➤ Características Técnicas.

**Ancho de banda del canal de radiodifusión.** La anchura de banda FM debe ser de 200 [kHz] (100 [kHz] a cada lado de la portadora principal).

**Identificación de los canales de radiodifusión.** Los canales de la banda de 88 a 108 [MHz] se identifican por su propia frecuencia portadora central y por el número del canal que le fue asignado previamente. Sus frecuencias centrales comienzan en 88.1 [MHz] y continúan sucesivamente hasta la de 107.9 [MHz].

**Frecuencia portadora y estabilidad de la frecuencia portadora** (tolerancia en frecuencia). La frecuencia promedio de la onda radiada cuando se modula con una señal senoidal (constante) o la frecuencia de la onda radiada en ausencia de modulación. La desviación instantánea de la frecuencia portadora a causa de la modulación.

**Control de la frecuencia portadora.** Para mantener la frecuencia de la portadora dentro una tolerancia, se instalará en el transmisor un dispositivo que controle automáticamente la frecuencia (tal como un cristal piezoeléctrico).

**Máxima desviación de frecuencia** (máxima excursión de frecuencia). La máxima excursión de frecuencia permisible son 75 [kHz] a uno y otro lado de la portadora. Esto corresponde al 100% de modulación, de otro modo no sería posible establecer en donde está la portadora.

**Porcentaje de modulación:** Razón de la oscilación real de la frecuencia a la oscilación de frecuencia definida como el 100% de modulación a una oscilación de frecuencia de + 75 [kHz].

**Tolerancia en la potencia de operación.** La potencia de operación se debe mantener tan cerca como sea posible de la potencia autorizada, pudiendo ser permisibles fluctuaciones en la línea de alimentación de energía eléctrica, éstas no deberán ser mayores al 10% ni menores del 15% de la potencia autorizada

**Antenas o sistema de antenas para FM.** Se puede utilizar, en las estaciones de radiodifusión sonora de FM, cualquier antena o sistema de antena, construidas para tal fin, siempre y cuando reúnan los requisitos que establezca la SCT.

**Polarización.** Normalmente, la componente eléctrica del campo electromagnético debe polarizarse horizontalmente.

**Tipo de antenas:** Es recomendable emplear antenas direccionales.

**Espectro de las emisiones**

Las emisiones producidas por una estación de radiodifusión de Frecuencia Modulada, deberán cumplir con los siguientes requisitos:

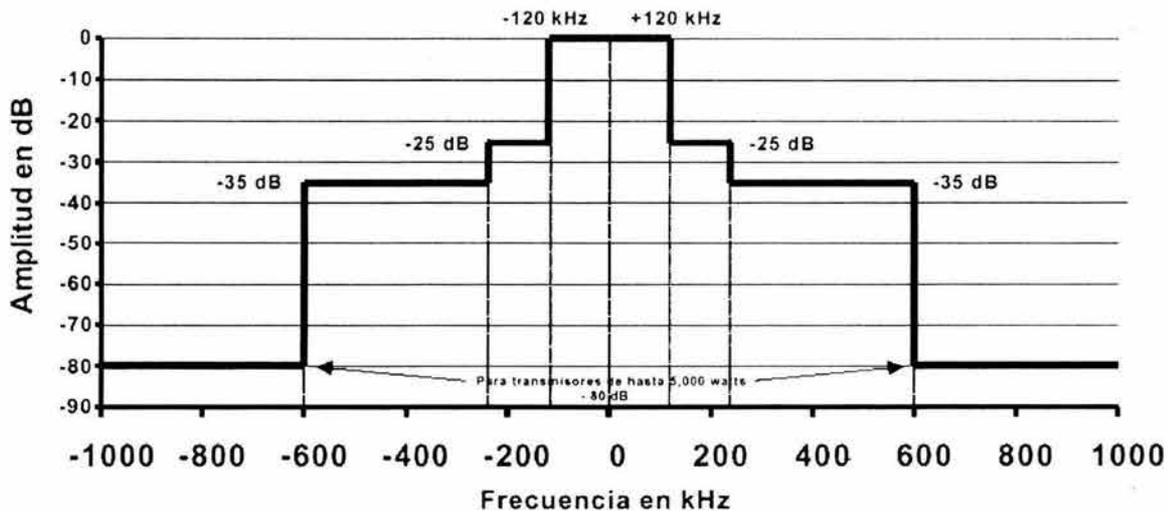


Fig. 2.4 Máscara para la Emisión de FM

- Los componentes del espectro comprendidos entre -120 y +120 [kHz], tomando como 0 la frecuencia central (portadora), se consideran componentes esenciales para la transmisión

- de la información, por lo tanto no serán sujetos a ninguna atenuación, de aquí que la anchura de banda necesaria para una estación de FM, será de 240 [kHz].
- Los componentes del espectro comprendidos de -120 a -240 [kHz] y de +120 a +240 [kHz], tomando como 0 la frecuencia central (portadora), se consideran emisiones no deseadas, por lo que deberán tener una amplitud menor a -25 [dB] por debajo del nivel de la portadora, establecido como referencia cuando ésta no está modulada.
  - Los componentes del espectro comprendidos de -240 a -600 [kHz] y de +240 a +600 [kHz], tomando como 0 la frecuencia central (portadora), se consideran emisiones no deseadas, por lo que deberán tener una amplitud menor a -35 [dB] por debajo del nivel de la portadora, establecido como referencia cuando ésta no está modulada.
  - Para los transmisores de hasta 5,000 [W] de potencia, todos los componentes del espectro que estén por debajo de -600 [kHz] y por arriba de los +600 [kHz] tomando como 0 la frecuencia central (portadora), se consideran emisiones no deseadas, por lo que deberá tener una amplitud menor a -80 [dB] por debajo del nivel de la portadora, establecido como referencia cuando ésta no está modulada.
  - Para los transmisores cuya potencia sea superior a 5,000 [W], todos los componentes del espectro que estén por debajo de -600 [kHz] y por arriba de los +600 [kHz] tomando como 0 la frecuencia central (portadora), se consideran emisiones no deseadas, por lo que deberán tener una amplitud menor a: -43 [dB] (potencia del transmisor en [W]) por debajo del nivel de la portadora, establecido como referencia cuando ésta no está modulada.
  - Cuando una estación radiodifusora produzca emisiones no deseadas, que causen interferencia perjudicial a otros servicios, el concesionario o permisionario de la estación en cuestión debe tomar las medidas apropiadas para suprimirlas totalmente, o reducirlas a un nivel tal, que dejen de ser perjudiciales.
  - El espectro de las emisiones será comprobado en la salida del transmisor, tomando una muestra de la señal que va hacia la antena. En el caso de instalaciones que emplean una sola antena para varias estaciones, la verificación del espectro se hará en la salida del combinador que alimenta al sistema de la antena.
  - En los casos en que las emisiones no deseadas se generen por efectos de intermodulación con otros servicios, sean o no de radiodifusión, y que éstas emisiones causen interferencias objetables, el concesionario o permisionario debe participar en la eliminación de las mencionadas emisiones, hasta donde su emisora sea la causante de la interferencia.

#### **Características del sistema estereofónico en la radiodifusión en FM:**

1. La señal de modulación para el canal principal estará constituida por la suma de las señales izquierda y derecha.
2. Se transmitirá una subportadora piloto a  $19000 \text{ [Hz]} \pm 2 \text{ [Hz]}$ , la cual modulará en frecuencia a la portadora principal entre los límites del 8 y 10%.
3. La subportadora estereofónica será la segunda armónica de la portadora piloto y cruzará el eje del tiempo con una pendiente positiva simultáneamente con cada cruce del eje del tiempo por la subportadora piloto.
4. Se utilizará modulación en amplitud de doble banda lateral con portadora suprimida para la subportadora estereofónica en 38 [kHz].
5. La subportadora estereofónica de 38 [kHz] será suprimida a un nivel inferior al 1% de modulación de la portadora principal.
6. Las subportadoras de sonido estereofónico deben ser capaces de aceptar audiofrecuencias desde 50 [Hz] hasta 15000 [Hz].
7. La señal de modulación para la subportadora estereofónica será igual a la diferencia de las señales izquierda y derecha.
8. Las características de preénfasis del subcanal estereofónico será idéntico a los del canal principal con respecto a la fase y a la amplitud a todas las frecuencias.
9. Se aplicarán los siguientes niveles de modulación a las transmisiones de sonido estereofónico:

10.
  - a. Cuando exista una señal en un canal solamente de una transmisión sonora de dos canales (bifónica), la modulación de la portadora por componentes de audio dentro del rango de la banda de 50 [Hz] a 15000 [Hz] no deberá exceder al 45% y la modulación de la portadora por la suma de la subportadora modulada en amplitud en el rango de la banda base de 23 [kHz] a 53 [kHz] no deberá exceder al 45%.
  - b. Cuando exista una señal en un canal solamente de una transmisión de sonido estereofónico que tenga más de una subportadora estereofónica en la banda base, la modulación de portadora por las componentes de audio dentro de la banda de 50 [Hz] a 15000 [Hz] no podrá exceder al 37% y la modulación de portadora por las componentes de audio dentro del rango de la base audio de 23 [kHz] a 99 [kHz] no deberá exceder al 53% con una modulación total que no exceda de 90%.
11. La modulación total de la portadora principal incluyendo a las subportadoras piloto y a todas las subportadoras de sonido estereofónico deben cumplir con los requisitos de los niveles de modulación señalados en el capítulo 6, con el máximo de modulación de la portadora principal por todas las subportadoras de comunicaciones subordinadas limitadas al 10%.
12. En el instante cuando solamente se aplique una señal izquierda positiva, la modulación del canal principal causará una desviación hacia arriba de la frecuencia portadora principal; y la subportadora estereofónica y su señal de bandas laterales cruzarán el eje del tiempo simultáneamente y en la misma dirección.
13. La relación de la cresta de la desviación del canal principal a la cresta de la desviación del subcanal estereofónico cuando exista solamente una señal izquierda (o derecha) en estado estacionario estará dentro de +3.5% por unidad para todos los niveles de esta señal y para todas las frecuencias desde 50 a 15000 [Hz].
14. La diferencia de fase entre los puntos cero de la señal del canal principal y la envolvente de las bandas laterales de la subportadora estereofónica, cuando exista solamente una señal izquierda (o derecha) en estado estacionario, no excederá en + 3° para las frecuencias de modulación de audio desde 50 a 15000 [Hz].
15. La separación entre cualquiera de dos canales de un sistema de transmisión estereofónico debe exceder de 29.7 [dB] para todas las frecuencias de modulación de audio entre 50 y 15000 [Hz].
16. Esta separación indicará que se cumple con los párrafos 12 y 13 de esta sección.
17. La diafonía no lineal dentro del canal de programa principal causada por señales en el subcanal de radiodifusión estereofónico debe atenuarse al menos en 40 [dB] (medidos como ruido RCM) abajo del 90% de modulación. La diafonía no lineal dentro de los subcanales de radiodifusión estereofónicos causada por señales en el canal principal deberán atenuarse como mínimo 40 [dB] (medidos como ruido RCM) abajo del 90% de modulación, (la diafonía lineal no incluye efectos de diferencia de retardo de fase en los circuitos de programas de audio. Estos efectos están representados por las pérdidas de la separación del canal, y también por la distorsión de amplitud en la recepción monofónica de programas estereofónicos).
18. El comportamiento del transmisor se aplica al canal principal y a los subcanales estereofónicos por igual, excepto que el nivel de referencia del 100% de modulación incluye a la subportadora piloto.

#### **Clasificación de las estaciones:**

- a. Estación clase A. Una estación que está destinada a prestar servicio, principalmente a poblaciones o ciudades relativamente pequeñas y a las áreas rurales contiguas a las mismas.
- b. Estación clase B y C. Estaciones que están destinadas a prestar servicio principalmente en áreas más o menos extensas y a ciudades importantes o ciudades de un área urbana, incluyendo las áreas rurales contiguas a dichas poblaciones.
- c. Estación clase D. Una estación de parámetros restringidos.

**Valores máximos de potencia de operación:**

- a. Estación clase A: 3 [kW]
- b. Estación clase B: 50 [kW]
- c. Estación clase C: 100 [kW]
- d. Estación clase D: 0.02 [kW]

**Separación en frecuencia de estaciones que operan en una misma localidad.** Las estaciones de radiodifusión sonora de FM, que operen en una misma localidad deberán mantener una separación de sus frecuencias portadoras de 800 [kHz] como mínimo.

Clase de estaciones	Mismo canal	A 200[kHz]	A 400[kHz]	A 600[kHz]
A con A	105	65	25	25
A con B	175	105	65	65
A con C	210	170	105	105
A con D	95	50	25	25
B con B	240	170	65	65
B con C	270	215	105	105
B con D	170	95	65	65
C con C	290	240	105	105
C con D	200	155	105	105
D con D	18	10	5	5

*Tabla2-2 Separación Mínima ( en km ) Requerida entre Estaciones*

### 3. Usos, Mercado y limitaciones en la Actualidad para la Radiodifusión Sonora

#### 3.1 Principales formatos de programación

La radio ocupa un lugar privilegiado para mantenerse de manera competitiva y de servicio a la sociedad. Sigue siendo el medio más implantado de las sociedades desarrolladas y subdesarrolladas, el de mayor penetración mundial. Es un medio de bajo costo en la red técnica, en la producción y en la difusión. Y sobre todo, sigue siendo un medio gratuito para llegar a todos.

La producción en el costo es sumamente flexible que puede ir desde los bajísimos costos de las radios comunitarias y de intercomunicación social, de participación ciudadana, hasta los elevados costos de las radios fuertemente competitivas con coberturas de grandes acontecimientos nacionales e internacionales, suscriptos a las grandes agencias y con diversidad de corresponsales internacionales.

No se requieren de conexiones, ni equipo de alto costo. Los receptores de pilas son accesibles a todos los públicos. Su punto fuerte sigue siendo el acompañamiento del hombre iterativamente en automóvil o andante. Es un equipo de bolsillo que con unos simples auriculares puede seguirse en cualquier situación.

Tal flexibilidad se aprecia también en los contenidos, se emplea con objetivos comerciales, de negocio y también con fines de servicio social, educativo y cultural a diversidad de grupos. Incorpora la información en directo o elaborada en diferido y el entretenimiento musical y de concursos. La historia ha demostrado que no hay límite alguno de contenidos sino tendencias y relevancia de unos sobre otros según cada época y país.

Definido como el medio masivo por excelencia, la radio, que su cobertura alcanza al 98% de la población de cada país, ha convertido a la radiodifusión en sencillo acto cotidiano, casi natural, practicado por millones de personas que acompañan la jornada diaria con la música, las charlas o la información que la radio ofrece. Para ello cuenta con:

- Gran cantidad de emisoras.
- Una emisora para cada estilo de vida.
- Programación variada.
- Influencia local.
- Emisoras adaptadas a los gustos locales.

Los principales formatos de programación que se manejan son:

Musicales: clásica, juvenil, por catálogo, regional, internacional e infantil. Principalmente se localiza en la banda de FM, por su mejor calidad de transmisión, aunque encontramos algunas generalmente con programación regional en AM.

Noticieros: nacionales, internacionales, deportivos. Este tipo de programas ha tenido un gran auge actualmente y los podemos localizar en ambas bandas.

Hablados: seriales, variedades, femeninos, magazines. Dirigido principalmente al público femenino que se encuentra en casa. Y es actualmente la forma en que la banda de AM ha logrado competir con los programas musicales de FM.

Otros: educativos, gubernamentales o programas especiales. Son escasos y generalmente no responden a intereses comerciales.

### **3.2 Limitaciones en la Actualidad para la Radiodifusión**

La radiodifusión sonora constituye un medio de comunicación muy atractivo para la difusión de programas informativos y de entretenimiento desde un lugar central hacia una gran población. El principal atractivo de la radiodifusión sonora radica en el bajo costo del receptor, al alcance de todo el mundo. Sin embargo, esta tecnología ya es muy antigua y no ha sido actualizada, como ha ocurrido en otras áreas de las telecomunicaciones, con los diversos adelantos tecnológicos, para poder convertirse en un instrumento más eficaz.

#### **Desventajas de la Radiodifusión Sonora de AM**

La Modulación en Amplitud, fue la primera técnica que se empleó en los inicios de la radiodifusión, es asimismo, un sistema muy económico y de gran popularidad en el mundo Pero la radiodifusión sonora de AM tiene ciertos inconvenientes y necesita mejorar su calidad para ponerse a la altura de las técnicas de producción de la radiodifusión digital.

En las bandas asignadas para la radiodifusión de AM, el ancho de banda está limitada a tan sólo 9 ó 10 [kHz]. Esto produce un sistema de baja calidad para la reproducción de audiofrecuencias. La mayoría de las emisoras AM no reproducen con fidelidad los sonidos por debajo de 100 [Hz] ó por encima de 5 [kHz]. Además también es complicado enviar señales adicionales.

Tiene una gama dinámica de sólo unos 40 [dB]. Además, está sujeta a diversas fuentes de ruido eléctrico e interferencias tanto natural como el producido por el hombre, que degradan su calidad de recepción.

La cobertura en AM, es medida fácilmente en el campo y es continuamente consistente de un día para otro, pero no es útil para tener multiseñales. Por el congestionamiento de señales y la localización de la antena, obliga a muchas estaciones disponer de antenas con patrones altamente direccionales, que normalmente forman área de cobertura irregulares, que no siempre

corresponden a los objetivos de la audiencia. De día la cobertura de AM es muy amplia y por la noche la reflexión de las transmisiones en la ionosfera, obliga a la mayoría de las estaciones a reducir la potencia, para evitar interferencias a estaciones lejanas, la reducción de potencia hacen a los transmisores más susceptibles de ruidos eléctricos producidos por la iluminación pública, los motores eléctricos, etc. El resultado es una recepción con ruidos y estática.

### **Desventajas de la Radiodifusión Sonora de FM**

Hablando de la Radiodifusión en FM su calidad se fundamenta en su modulación, y la capacidad se basa en su ubicación en la banda de VHF. Las estaciones de FM tienen un ancho de banda de 200 [kHz] y pueden modular audio hasta de 15 [kHz]. Pero su pequeña cobertura de sus emisiones se deriva de su propagación por ondas directas, radiación típica de la banda VHF. A diferencia de la Onda Media que se difunde por ondas de superficie, la direccionalidad de FM impide que sus señales consigan grandes distancias. En consecuencia, y tomando como principio esta limitación técnica, el servicio de FM se ha concebido como un medio fundamentalmente local en contraposición con el carácter nacional de la Onda Media. Esto no significa, naturalmente, que no existan cadenas de frecuencia modulada, sino simplemente que se incrementan las dificultades técnicas para su implementación y en consecuencia también su costo.

Los métodos actuales más eficaces para superar el localismo de la frecuencia modulada son fundamentalmente el satélite y los retransmisores.

La utilización del satélite como medio de distribución alternativo y económico, en comparación con los sistemas terrestres, puede modificar la concepción local del servicio de FM. Como consecuencia, es factible el desarrollo de cadenas de radio con fórmulas musicales.

El localismo del servicio de FM derivado de su sistema de propagación tradicionalmente ha producido que muchas zonas no puedan recibir emisiones provenientes de estaciones de FM. Para limitar estos inconvenientes, se emplean actualmente los denominados retransmisores. Los retransmisores de FM, a diferencia de los simples repetidores que sencillamente amplifican una señal determinada para que alcance una mayor cobertura, se basan en una estación convencional de FM que sirve a modo de satélite terrestre o como una extensión de otra emisora de frecuencia modulada. Es decir, está formado por un receptor / transmisor de FM de pequeña potencia que recibe la señal (débil) de una estación convencional de frecuencia modulada, y la retransmite empleando para ello un canal diferente al utilizado por la estación original. Como consecuencia, los retransmisores no introducen programación propia sino simplemente sirven para incrementar la cobertura de una determinada estación de FM.

Tecnológicamente, su funcionamiento es muy sencillo. El receptor, por medio de una antena, recibe la señal de la estación original de FM y demodula la información de audio. Por otra parte, el transmisor correspondiente vuelve a modular esa información en otra portadora con diferente frecuencia (distinto canal) para que sea transmitida por la correspondiente antena.

Otros problemas de FM son los desvanecimientos y la propagación multitrayectoria. Estos fenómenos ocurren principalmente, cuando el receptor está en movimiento como consecuencia de las reflexiones de las señales de FM debido a los distintos obstáculos en su trayecto a la antena receptora. El receptor no puede discriminar entre la complejidad de las señales recibidas con diferentes desfases, y el resultado son ruidos extraños en la emisión.

Actualmente, están presentes en todos los países sistemas de radiodifusión sonora analógicos, tales como FM o AM y estos sistemas adolecen de una serie de problemas:

- Emplea un ancho de banda muy elevado para la calidad que ofrecen si los comparamos con los sistemas digitales.
- La distancia de reutilización de los canales cuando se emplean transmisores analógicos es muy elevada por lo que aparece un problema bastante grave, la saturación del espectro

radioeléctrico ya que hay que usar una gran cantidad de canales para dar cobertura de un mismo programa.

- Los usuarios no están contentos con la calidad que les ofrece la radiodifusión sonora analógica (FM o AM), sobre todo en los casos de recepción móvil o portátil (problemas de propagación multirrayecto y efecto Doppler), por lo que demandan una mejora en la calidad.
- La potencia de los transmisores es muy elevada y gran parte de la misma se desperdicia.
- La cantidad de aplicaciones sobre radiodifusión analógica está muy limitada (RDS).

Con la tecnología de transmisión digital, pueden mejorarse estas cifras llegando a respuestas en frecuencia de hasta 20 [kHz] con calidad similar al disco compacto (CD) y con una gama dinámica de unos 90 [dB]. Por otra parte, la transmisión digital proporciona la suficiente flexibilidad como para transmitir programas multicanal con interesantes servicios de valor añadido

### Requerimientos para un Nuevo Sistema de Radiodifusión Sonora

- Calidad de recepción mejorada comparable con la del CD.
- Capacidad para realizar distintos procesos de codificación y compresión sobre la señal que consiga disminuir su ancho de banda sin perder calidad
- Optimización del espectro para poder operar en redes de frecuencia única (SFN)
- Solución a los problemas de propagación multirrayectoria y efecto Doppler en la recepción móvil y portátil.
- Uso flexible de la radio, cuando se requiera.
- No realizar cambios en los hábitos de escucha existentes: mismas frecuencias, mismas condiciones (radio fija, portátil y móvil), mismo ambiente (interior de la casa, en ciudades, en selvas, etc.)
- Bajo costo del receptor.
- Bajo consumo de energía.
- Fácil sintonía: con selección por frecuencia, nombre de la emisora o tipo de programa.
- Contenido programático más diverso, usando las capacidades completas de las nuevas características digitales.
- Amplio rango de recepción con más y mejores prestaciones
- Radios que podrán suministrar los programas con información de texto asociada, nombre de la emisora, título de la grabación, nombre del cantante, etc.
- Uso continuado de los sistemas actualmente existentes de transmisión.
- Uso (más eficiente) del plan de frecuencias existente.
- Control editorial independiente.
- Control del área de cobertura.
- Rápida flexibilidad en corto plazo cuando sea necesaria.
- Oportunidades para la utilización de servicios de valor agregado tales como servicios de datos, texto y otros.
- Incremento en el interés de la audiencia como resultado de una mejora en la calidad de audio y servicios adicionales
- Incremento en el interés de los patrocinadores y clientes como resultado de un mayor interés de la audiencia.

## 4. Estado de la Radiodifusión Sonora en México

### 4.1 Cobertura de la radio mexicana

Según el Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2001-2006, el 99% de las comunidades del país reciben señales de radio AM, mientras que el 75% estaciones que transmiten en la banda de FM. Además de 16 estaciones de onda corta. La ampliación de la cobertura ha sido de 3% en los últimos años, ya que aún en 1996 la radio llegaba al 96% de los mexicanos. Esta cobertura no significa, necesariamente, que todos los mexicanos tengan servicios de radiodifusión local, sino que en muchas regiones del país se reciben señales de ciudades

cercanas y en algunos casos, provenientes de las grandes radiodifusoras de la Ciudad de México. Esto explica el por qué todavía existen en México unos 400 municipios que cuentan con un reducido número de estaciones y muchos más que carecen de radiodifusión local o de cualquier otro servicio de radio.

Las cifras de cobertura, desafortunadamente son poco claras y no existen mayores datos e investigaciones públicas que corroboren la verdadera penetración actual de la radio, son tan inciertas como el número real de estaciones y permisos de radio que operan en México. De acuerdo con las estadísticas que tiene disponibles la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), hasta el año 2000 había 1449 estaciones de radio en las bandas de AM y FM, pero los listados que ofrece de sus concesionarios y permisionarios actuales no suma lo mismo, ya que ahí aparecen 1457. Por su parte, la Cámara Nacional de la Industria de Radio y Televisión (CIRT) informa que son 1337. Sea lo que fuere, lo cierto es que éstas 1449, 1457 o 1337 estaciones de radio son aún insuficientes para llegar a toda la población, incluyendo infinidad de zonas marginadas.

	AM	FM	AM	FM	TOTAL
	CONCESIONADA	CONCESIONADA	PERMISIONADA	PERMISIONADA	
SCT (cuadro general)	755	386	96	212	1449
SCT (listado de concesionarios e permisionarios)	759	390	96	212	1457
CIRT	758	384	94	101	1337

*Tabla 4.1 Cobertura de la radio mexicana*

Por supuesto que estas desigualdades en el acceso a los servicios de la radio y en la participación de más y de nuevos emisores no son sólo consecuencia de la situación económica que impera en México, sino también de las políticas con diversos empresarios de la radiodifusión comercial, al favorecer la creación de empresas y grupos con un dominio totalmente claro en diversos mercados locales y regionales, en detrimento de la ampliación del servicio, de la competitividad y el ejercicio de prácticas comerciales sanas.

En los últimos años el gobierno justificó el plan de asignación de concesiones y permisos en el número de habitantes de un municipio o ciudad. La población que superaba los 10 mil habitantes, era candidata natural para recibir una concesión o permiso para tener servicios de radiodifusión local. Sin embargo, tal cantidad siempre ha sido insuficiente para los industriales de la radio y la televisión, quienes consideran que ese número no necesariamente significa desarrollo económico y en consecuencia, recursos para ser invertidos en publicidad radiofónica.

De acuerdo con un estudio elaborado en 1992 por Consultores Internacionales para la CIRT, se consideraba que cada estación de AM o FM debe servir a un número no menor de 85,200 habitantes en todas las poblaciones del país con el fin de no poner en riesgo la situación económica de esta industria. Es por ello que, históricamente, cada vez que la SCT ha tenido la intención de lanzar la convocatoria de concesiones y permisos, los radiodifusores manifestaban abiertamente su oposición, ya que para ellos los servicios actuales son más que suficientes e incluso hay saturación de plazas.

La radio, pese al importante crecimiento de la radio permisionada en los últimos años, al pasar de 95 estaciones en 1990 a 319 en el 2000, sigue siendo en algunas regiones del país un servicio aún limitado y muy cerrado para la participación de nuevos "jugadores". Hoy en día, si cotejamos las estadísticas oficiales de la SCT con los resultados del censo de población del año 2000, corresponde una radiodifusora por más de 67 mil habitantes, número que se acercaría a las peticiones de la CIRT, pero muy elevado si lo comparamos con lo que sucede en otros países. En Estados Unidos hay una estación por poco menos de 22 mil habitantes; en Colombia hay una estación por más de 58 mil habitantes y si tomamos en cuenta las estaciones de baja potencia, correspondería una por cada 32,500 habitantes, y en Argentina corresponde una estación por casi 22 mil habitantes, por citar algunos ejemplos.

<b>País</b>	<b>Población</b>	<b>Número de Estaciones</b>	<b>Porcentaje</b>
Estados Unidos	281,421,906 (7)	13,012(6)	21,627,875
Perú	24,371,043 (2)	1,277	19,084,606
Argentina	35,672,000 (2)	1,640	21,751,219
Colombia	41,539,011 (3)	1,279 (4)	32,477,725
Venezuela	21,844,496 (1)	448	48,760,035
México	97,483,414 (5)	1,449	67,276,338

*Tabla 4.2 Estaciones de radio por país*

Si se analiza con mayor detenimiento la infraestructura radiofónica en los diferentes estados del país, también vemos contrastes notables. En un estado como Nuevo León hay una radiodifusora por casi 61 mil habitantes, mientras que en Chihuahua, donde la población es menor en 800 mil habitantes al estado anterior, corresponde una estación por casi 37 mil habitantes. En Sonora hay una emisora por cada 19 mil habitantes y en San Luis Potosí, sin grandes diferencias en población con este último estado, tiene una estación por más de 76 mil habitantes. En efecto, hay que tomar en cuenta que una radiodifusora, fundamentalmente que opera en la banda de AM, no presta sus servicios a una sola ciudad o municipio, sino que su rango abarca otras ciudades o municipios, pero valga el comparativo que hemos hecho para darnos cuenta de las desproporciones aún existentes.

<b>Estado</b>	<b>Población</b>	<b>Número de Estaciones</b>	<b>Habitantes por Estación</b>
Aguascalientes	944,285	20	47,214
Baja California	2,487,367	68	36,579
Baja California Sur	424,041	19	22,318
Campeche	690,689	16	43,168
Coahuila	2,298,070	85	27,036
Colima	542,627	17	31,919
Chiapas	3,920,892	51	76,880
Chihuahua	3,052,907	83	36,782
Distrito Federal	8,605,239	60	143,421
Durango	1,448,661	25	57,946
Guanajuato	4,663,032	55	84,782
Guerrero	3,079,649	44	69,992
Hidalgo	2,235,591	22	101,618
Jalisco	6,322,002	84	75,262
México	13,096,686	20	654,834
Michoacán	3,985,667	58	68,718
Morelos	1,555,296	25	62,212
Nayarit	920,185	21	43,818
Nuevo León	3,834,141	63	60,859
Oaxaca	3,438,765	69	49,837
Puebla	5,076,686	38	133,597
Querétaro	1,404,306	19	73,911
Quintana Roo	874,963	22	39,771
San Luis Potosí	2,299,360	30	76,645
Sinaloa	2,536,844	49	51,772
Sonora	2,216,969	113	19,619
Tabasco	1,891,829	27	70,068
Tamaulipas	2,753,222	90	30,591
Tlaxcala	962,646	6	160,441
Veracruz	6,908,975	100	69,090
Yucatán	1,658,210	32	51,819
Zacatecas	1,353,610	18	75,201

*Tabla 4.3 Radiodifusoras y población por entidad*

De igual manera, los contrastes se aprecian en el número de receptores de radio que existen en México. Los datos más actualizados de la UNESCO, refieren que en 1997, nuestro país contaba con 329 receptores por cada 1000 habitantes. Esta cifra nos coloca muy debajo de países como Estados Unidos (2,116), Canadá (1067), Puerto Rico (714), Argentina (681), Bolivia (675), Uruguay

(603), Colombia (524), Brasil (434), Honduras (410) y en similares condiciones de naciones como Cuba (352), Panamá (299), Chile (354) y Ecuador (348). Así, cuando hablamos de sustituir paulatinamente a los receptores de radio actuales, una vez que comience a introducirse alguno de los sistemas digitales existentes, vemos el enorme reto que aún se tiene por delante en nuestro país.

#### 4.2 La Radio Permisionada Concesionada y Comunitaria

Jurídicamente en México la radiodifusión puede ser **Permisionada o Concesionada**. La radio comercial en México está integrada por las emisoras que operan bajo concesión de gobierno federal, con posibilidades de comercializar sus transmisiones. En el 2002 existían 1151 estaciones que funcionaban bajo ese esquema jurídico.

Nombre	Numero de Estaciones
1- Radorama	190
2- Grupo ACIR/Corporación Mexicana de Radiodifusión	159
3- Radiocima	92
4- Organización Impulsora de Radio (OIR)	89
5- Sociedad Mexicana de Radio (Somer)	77
6- Promosat de México	62
7- Radiodifusoras Asociadas (RASA)	57
8- MVS Radio	51
9- Radiodifusoras Unidas Mexicanas (Ramsa)/Organización Radio Fórmula (ORF)	43
10- Organización Estrella de Oro / Multimedios Estrellas de Oro	38
11- Radio, S.A.	36
12- Funcionamiento Integro de Radiodifusoras Mexicanas Enlazadas (Firmesa)	34
13- Corporadio	33
14- Direct Deal Radio	25
15- Grupo Radiofónico Nueva Era	23
16- Difusoras Unidas Independientes (Difusa)	23
17- Central Trade Media	20
18- Instituto Mexicano de la Radio (Imer)	19
19- Grupo Radio México	17
20- Radio Cadena Nacional (RCN)	16
21- Televisa Radio	15
22- Grupo Radio Centro	11
23- Grupo Radio Alegría	11

24- Grupo Siete Comunicaciones	8
25- Grupo ACIR (Ciudad de México)	7
26- Núcleo Radio Mil (NRM Comunicaciones)	6
27- Publicistas en Radiodifusión (Pradsa)	5
28- Radio Ventas de Provincia (Ravepsa)	3
29- Imagen	2

**Tabla 4-4 Grupos Mexicanos de Radio Comercial**

La radio cultural y estatal en México está integrada por las emisoras que operan bajo el régimen de permiso otorgado por el gobierno federal, sin posibilidades de comercializar sus transmisiones. En el 2002 existían 376 estaciones que funcionaban bajo ese esquema jurídico.

A pesar de que en este país el modelo comercial es por diversas causas políticas y económicas el que impera en los medios de comunicación, la radio cultural y estatal ha logrado convertirse en una opción muy valiosa dentro de la apabullante oferta de información y entretenimiento mediático.

El pequeño número de emisoras culturales se explica debido a que la SCT sólo ha otorgado permisos para operar estaciones de radio en casos excepcionales, ante su política de impulsar, preponderantemente, la inversión privada en los medios electrónicos y las telecomunicaciones.

Este grupo de radiodifusoras permisionadas aumentó durante al 2000, con la regularización y operación de nuevas emisoras, sobre todo ubicadas en Sonora. En dicho estado, la SCT entregó en marzo de ese año al gobierno y a la Universidad sonorensis, los permisos para regularizar, instalar y operar 90 estaciones de radio y televisión. Con la entrega de los permisos crece la infraestructura de radio y televisión del gobierno estatal, al adicionarse 62 nuevas emisoras y regularizarse 21. Dentro del paquete fueron incluidas 6 nuevas emisoras de radio que serán operadas por la Universidad de Sonora.

Los estados de la República con más estaciones permisionadas son Tamaulipas y Sonora con 19 cada uno, le sigue Oaxaca con 16 y Chiapas con 15. En contraparte las entidades que menos estaciones permisionadas tienen son Colima, Tlaxcala y Zacatecas con una cada una.

Estas emisoras permisionadas son, en su gran mayoría, las actuales radiodifusoras universitarias, estatales, algunas del Estado (IMER) e indigenistas, hoy en día agrupadas en diversas organizaciones como: La Red Nacional de Radiodifusoras y Televisoras Educativas y Culturales (96 estaciones de radio), dependientes de los gobiernos estatales y que transmiten desde 112 ciudades en todo el territorio nacional. Aquí estarían, por ejemplo, Radio y Televisión de Hidalgo, Radio Nuevo León, Sistema Radio Tamaulipas, Corporación Oaxaqueña de Radio y Televisión, etc.

El Sistema Nacional de Productoras y Radiodifusoras de Instituciones de Educación Superior, en el cual participan más de 40 emisoras, entre ellas Radio Universidad de Sinaloa, Radio Universidad Autónoma de Chihuahua, Radio UNAM, Radio Universidad de San Luis Potosí, etc.

El Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, cuyas administraciones han instalado radiodifusoras en los institutos de Saltillo, Durango, Tijuana, Celaya y Mérida. Las emisoras de este sistema participan en el mencionado Sistema Nacional de Radioproductoras y Radiodifusoras de Instituciones de Educación Superior.

El Instituto Nacional Indigenista, actualmente conformado por 24 emisoras y cuyo propósito es

atender, en 31 lenguas, a una parte de los más de 10 millones 500 mil indígenas del país, pertenecientes a 56 etnias ubicadas en diferentes sitios de la República Mexicana.

Todas estas radiodifusoras, además de ofrecer algo distinto a sus públicos han logrado sobrevivir como medios de comunicación con un fuerte arraigo local e incluso, en ciertos casos, comunitario. Sin embargo, pese a esta situación, la presencia de la radio cultural sigue siendo limitada, debido sobre todo a la escasez de recursos.

Tecnologías obsoletas, falta de capacitación y de estímulos a su personal, obstáculos legales para recibir patrocinios o anuncios comerciales y modificación constante de proyectos ante la llegada de nuevos equipos de trabajo con los cambios de administraciones federales y estatales, son los males que aquejan a muchas de estas radiodifusoras.

Aunque en México legalmente no existen las radios comunitarias, en la historia radiofónica de este país se han desarrollado proyectos consistentes en ese ámbito. Algunas de estas estaciones han tenido una vida efímera, mientras otras han logrado convertirse en opciones importantes de información, cultura y entretenimiento.

## Capítulo III: Procesos Importantes en los Sistemas de Radiodifusión Sonora Digital.

### 1. Técnicas de Codificación de Audio

#### 1.1 Introducción

En la transmisión de voz se usan los estándares de codificación que en general están basados en el análisis LPC (Lineal Predictive Coder) y en un modelo de producción del habla. Sin embargo, la codificación de audio está pensada para diversas aplicaciones además de la transmisión de voz, y no se basa solamente en el modelo LPC sino además toma en cuenta características psicoacústicas.

De esta forma en la última década, los grandes avances de la codificación de audio se han hecho para la reducción en la tasa de bit de transmisión y los codificadores audio perceptivos, rápidos y eficaces como el MPEG capa III y MPEG-2 AAC han demostrado entregar audio con calidad de estudio con poco o nada de pérdida perceptiva, con una tasa de bit de hasta 64 [kbps].

Los métodos de codificación de audio que existen en la actualidad se basan en algoritmos de compresión y en el PAC. Como por ejemplo PASC, ATRAC, AC3, MPEG, etc., cada una de ellas con sus características particulares de acuerdo a la aplicación para la cual fueron desarrolladas. A la hora de codificar una señal de audio se tiene en cuenta el comportamiento perceptivo del ser humano a los sonidos, y toda aquella información irrelevante, no detectable por el oído, se ignora en el proceso de codificación.

Mientras tanto, en la codificación para transportar audio satisfactoriamente sobre conexiones de bajo ancho de banda, han sido menos afortunados los resultados obtenidos. Mientras que la codificación de banda ancha ampliamente utilizada del habla con CCITT G.722 y los estándares CELP producen resultados aceptables en las tasas de bits de hasta 48 [kbps] cuando están utilizados para el habla, muchas conexiones analógicas no son capaces de trabajar con tasas de datos mas altas y las deficiencias son evidentes cuando se transmite música o material mezclado en los programas de radio. Así, otro acercamiento para la codificación con bajos anchos de banda fue llamado Spectral Band Replication (SBR) y desarrollado por Coding Technologies.

#### 1.2 Compresión

La técnica más simple para reducir el volumen de datos en una señal digital es la reducción de la frecuencia de muestreo o de la cantidad de bits de cuantización. Si bien, es un método bastante rudimentario y poco eficiente, todavía puede ser utilizado en algunas aplicaciones. Solamente hay que tener en cuenta que reduciendo la frecuencia de muestreo se reduce el ancho de banda que es posible procesar y reduciendo los bits de cuantización disminuye el SQNR (relación señal ruido de cuantización) introduciéndose ruido en la señal. Existen otras técnicas más elaboradas la compresión de datos. En este punto es necesario distinguir entre compresión con pérdida o compresión sin pérdidas.

##### Compresión sin pérdidas

La compresión sin pérdidas consiste en remover aquellos datos que son redundantes en la señal de audio. Por ejemplo, si se observa que una determinada cadena de bits se repite con bastante frecuencia en la señal no es necesario transmitirla todas las veces que aparezca. Se transmite una sola vez y luego se insertan bits de control que indican en que lugares se deben reinsertar estas cadenas. Se dice que esta compresión es sin pérdidas debido a que es completamente reversible, porque es posible reconstruir en forma exacta los datos originales. Estas técnicas de compresión son por lo general muy poco eficientes; logran relaciones de compresión máximas de 4:1 aproximadamente.

### Compresión con Pérdidas

La compresión con pérdida de datos, es más bien una reducción en la cantidad de información y no una compresión de la misma. Esto significa que en el proceso de compresión/reducción, parte de la información se pierde irremediamente. Se trata entonces de un proceso irreversible; no es posible recuperar la señal original en su totalidad efectuando el proceso inverso porque parte de la misma se perdió para siempre.

Se buscó un algoritmo de compresión de audio más eficiente, con un mayor ratio de compresión e independiente de la fuente original del sonido (esto significa que, por ejemplo, el ratio de compresión de una señal de voz fuera aproximadamente el mismo que el de una señal música). Así, es como surge una de las técnicas con pérdidas más complejas y eficientes: la denominada PAC (Perceptual Audio Coding). Con esta técnica se alcanzan ratios de compresión realmente notables (desde 3:1 a 24:1 según el algoritmo) y en la actualidad, es parte esencial de numerosos productos de consumo masivo o de uso profesional.

### PAC

Uno de los métodos de compresión de audio más eficientes y controversiales es aquel que se basa en la eliminación de datos considerados irrelevantes, por ejemplo, datos que representan sonidos considerados inaudibles en presencia de otros elementos de una señal compleja.

Este tipo de codificación es denominada PAC (Codificación del Audio de Percepción) y está basada en dos principios básicos relativos al comportamiento del oído humano, estos son: enmascarado temporal y enmascarado frecuencial

El método implica contar con un modelo matemático del sistema de audición humano y es enteramente dependiente de la precisión del mismo. Además del manejo preciso de técnicas de filtrado y análisis del audio. Fundamentalmente, la técnica consiste en eliminar aquella parte de la señal de audio que el oído humano no será capaz de percibir debido a la presencia de otras señales que la enmascaran. Para poder entender como funciona el PAC, es necesario conocer algunos principios psicoacústicos fundamentales.

## 1.3 Principios Psicoacústicos

### Umbral Absoluto de Audición

El oído humano detecta sonidos entre 20[Hz] y 20[kHz]. Pero su sensibilidad depende de la frecuencia del sonido, de esta forma, dos frecuencias con la misma potencia son interpretadas por nuestro oído de forma diferente, teniendo la sensación de que una es más fuerte que otra, o incluso, oír una y no la otra. La curva que indica cual es la potencia mínima (umbral absoluto de audición) que nuestro oído detecta es la: Curva de sensibilidad del oído.

[kHz]

Podemos observar que nuestro oído es muy sensible a frecuencias entre 2 y 4[kHz]. Esto es coherente con el hecho de que el margen de frecuencias abarcado por la voz está comprendido entre 500 y 4000 [Hz].

La Fig. 1.1 muestra los umbrales absolutos de audición. Para determinarlos, Fletcher realizó en 1940 una serie de experimentos consistentes en presentar a una serie de oyentes un tono de frecuencia pura, y registrar el nivel mínimo de energía que debe presentar dicho tono para que pueda ser detectado en un entorno libre de ruidos. De esta gráfica puede deducirse que si un determinado mensaje musical presenta un tono de nivel inferior al mínimo necesario para ser captado por el ser humano, es posible eliminarlo sin que subjetivamente se aprecien diferencias.

También, se puede usar para obtener el máximo valor de energía de la distorsión introducida en el proceso de codificación para que ésta no sea audible. El margen dinámico entre el nivel de presión

sonora más pequeño que puede captar el oído y el más alto es de 96 [dB]. Esto permite saber el número de bits de cuantización que se necesitan para respetar dicho margen dinámico. Además, observamos que si la potencia de una cierta frecuencia no supera el umbral de la sensibilidad del oído, simplemente no la oiremos, por lo tanto no hace falta que la codifiquemos. Este es un primer paso en la compresión: eliminar las señales que no oiremos.

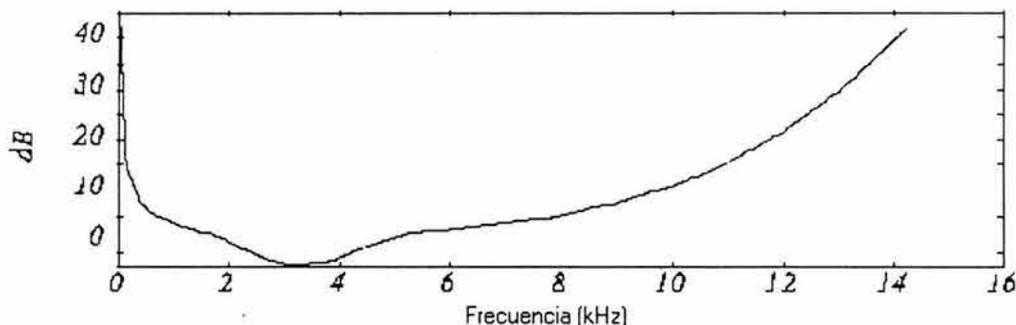


Fig. 1.1 Umbrales Absolutos de Audición

### Bandas Críticas

El sistema auditivo del ser humano tiene una respuesta en frecuencia limitada en cuanto a resolución. Es decir, existen bandas de frecuencias que el oído humano percibe como una sola, siendo incapaz de identificar diferencias entre dos frecuencias distintas dentro de una misma banda. Tiene lugar una especie de análisis mediante un banco de filtros, cuyo ancho de banda permanece constante (aproximadamente sobre unos 100 [Hz]) hasta los 500 [Hz], y a partir de aquí se incrementa en un 20% de la frecuencia central, formando en total 25 bandas.

El concepto de bandas críticas está muy relacionado con los fenómenos de enmascaramiento, esto se debe a que, un sonido de mucha intensidad dentro de una banda crítica tenderá a enmascarar cualquier otro sonido más débil dentro de la misma banda.

Banda	Frecuencia Central [Hz]	Ancho de Banda [Hz]
1	50	x-100
2	150	100-200
3	250	200-300
4	350	300-400
5	450	400-510
6	570	510-630
7	700	630-770
8	840	770-920
9	1000	920-1080
10	1170	1080-1270
11	1370	1270-1480
12	1600	1480-1720
13	1850	1720-2000
14	2150	2000-2320
15	2500	2320-2700
16	2900	2700-3150
17	3400	3150-3700
18	4000	3700-4400
19	4800	4400-5300
20	5800	5300-6400
21	7000	6400-7700
22	8500	7700-9500
23	10500	9500-12000
24	13500	12000-15500
25	19500	15500-

Tabla 1-1 Bandas Críticas

### Enmascarado

En la mayor parte del tiempo se presentan gran variedad de sonidos simultáneos; el ser humano automáticamente lleva a cabo la tarea de distinguir cada uno de ellos y atender a los de mayor importancia. A menos que realmente se preste atención a algún sonido que se desee escuchar, aunque sea muy difícil de detectar, es decir; el ser humano no se percata de todos los sonidos que no escucha a lo largo del día, pero que sí existen. Es muy difícil percibir un sonido cuando existe otro de mayor intensidad presente al mismo tiempo. Este proceso, al parecer intuitivo, a niveles psicoacústicos y cognoscitivos es muy complejo. El término para este fenómeno es enmascarado, y es probablemente la cualidad auditiva más investigada en los últimos tiempos.

El enmascarado está definido por la Asociación Americana de Estándares (ASA) como: "...el proceso por el cual el umbral de audición para un sonido (enmascarado) es elevado en la presencia de otro sonido (enmascarador)...". Por ejemplo, el potente sonido de la radio de un automóvil puede enmascarar el sonido del motor. El término fue acuñado en estudios de la visión humana, significando el defecto o imposibilidad para reconocer un estímulo en presencia de otro a niveles normalmente adecuados para percibir el primero. Como se mencionó anteriormente, existen dos tipos de enmascarado: el frecuencial y el temporal.

### Enmascarado frecuencial

Para explicar el fenómeno de enmascarado en frecuencia, supóngase se coloca una persona en una habitación en silencio; luego se va incrementando la intensidad de un tono de audio de 1[kHz] desde los 0[dB] hasta que sea apenas audible, se registra dicho nivel de intensidad. Si se repite la prueba para varias frecuencias distintas y se grafican los diversos niveles de intensidad se obtiene una curva como la representada en la Fig.1.2. Todos los puntos debajo de la curva corresponden a diferentes combinaciones de frecuencias e intensidades que son inaudibles para el oído humano. Es importante notar que esta curva cambia significativamente con la edad.

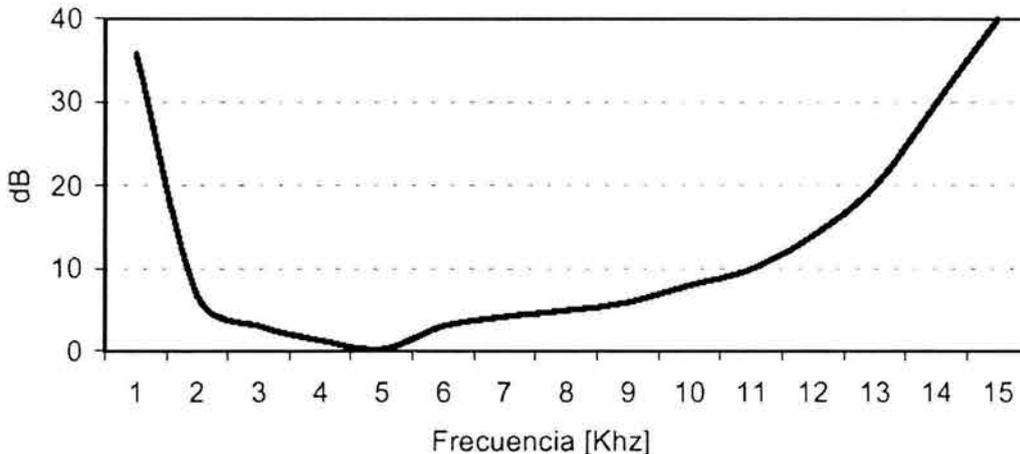


Fig.1.2 Umbral de Audición en el Silencio

Si ahora se ejecuta un tono de 4 [kHz] a una intensidad fija, por ejemplo 60 [dB] (tono enmascarador) y al mismo tiempo se va incrementando la intensidad de un tono de audio de 1 [kHz] (tono de prueba) desde los 0[dB] hasta que sea apenas audible, se registra dicho punto y se repite para varias frecuencias del tono de prueba se obtendría la siguiente curva Fig.1.3.

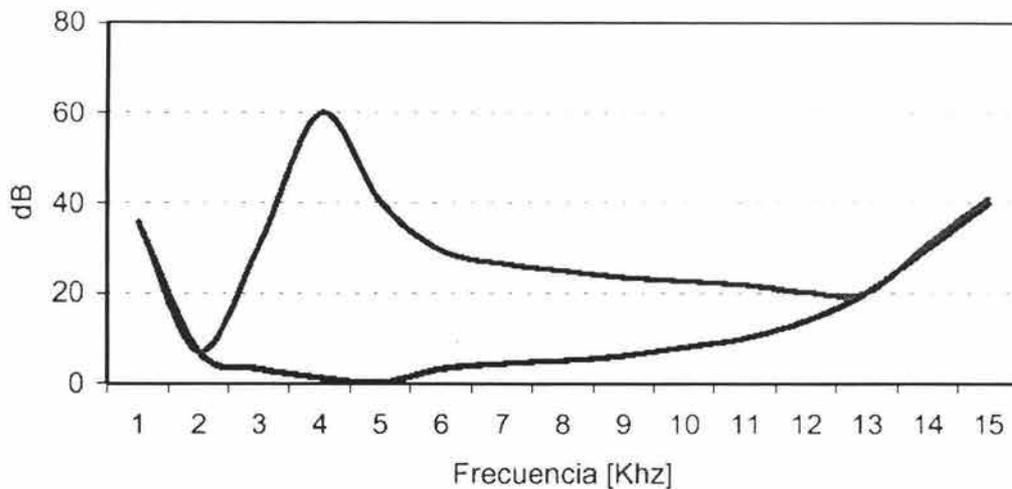


Fig.1.3 Enmascarado por 4[kHz]

En la Fig.1.3 se puede visualizar como el tono enmascarador (4 [kHz]) elevó el umbral de audición y convirtió una multitud de "puntos audibles" en "puntos inaudibles". Ahora, el nuevo umbral de audición. Todos los puntos debajo de dicha curva corresponden a sonidos inaudibles y todos los puntos encerrados entre las dos curvas corresponden a sonidos enmascarados por el tono de 4 [kHz], sonidos que antes (en el silencio) podían oírse.

El enmascaramiento gana importancia cuando los sonidos son cercanos en frecuencia y la frecuencia enmascaradora es inferior que la enmascarada. Para poder cuantificar el fenómeno de enmascaramiento surge el concepto de banda crítica como el ancho de banda máxima alrededor de una frecuencia para que no haya enmascaramiento, por lo tanto, sólo se produce éste entre bandas contiguas. Además, estas bandas están distribuidas siguiendo una escala logarítmica, simulando la escala perceptiva del oído.

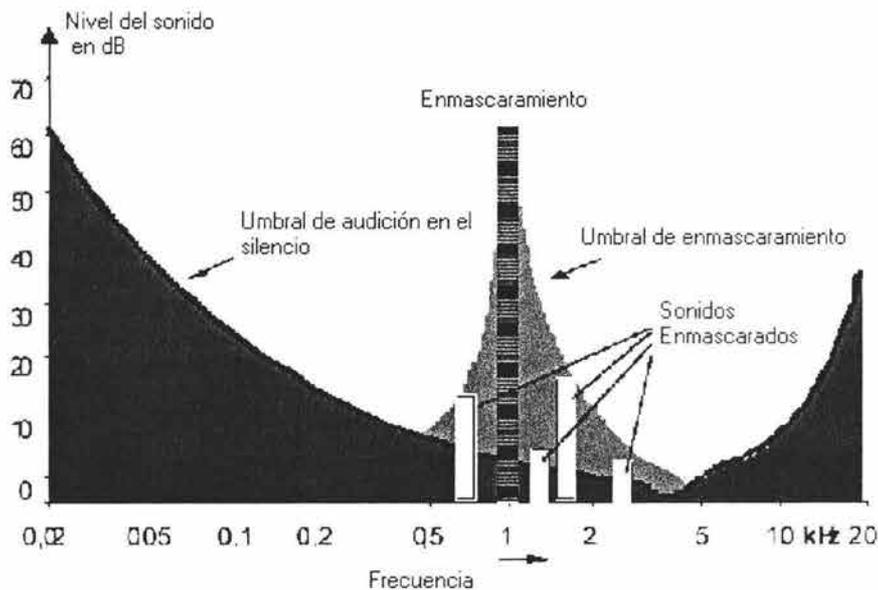


Fig.1.4 Enmascarado

### Escala perceptual BARK

Una escala para medir la percepción es la escala BARK que relaciona las frecuencias acústicas con la resolución de éstas. A partir de esta escala de bandas de frecuencia y de un modelo psicoacústico se determinará que frecuencias se enmascaran y cuales no.

### Enmascaramiento Temporal

El enmascaramiento temporal está relacionado con la imposibilidad del oído humano de percibir un sonido débil si antes de éste se estaba escuchando un sonido más potente. Es decir, si se está escuchando un sonido fuerte y luego se detiene, al oído humano le lleva un determinado tiempo hasta poder percibir algún sonido próximo más débil.

Supóngase se ejecuta un tono enmascarador de 1 [kHz] a 60 [dB] junto con un tono de prueba de 1.1 [kHz] a 40 [dB], el tono de prueba no puede oírse, está enmascarado. Se detiene el tono enmascarador y luego de un pequeño retardo, se detiene el tono de prueba. Se ajusta el retardo al mínimo tal que el tono de prueba todavía pueda ser oído (por ejemplo 5 [ms]) y se registra dicho valor de tiempo. Si se repite la prueba para distintas intensidades del tono de prueba y se registran los diferentes tiempos se obtiene una curva como la de la Fig.1.5.

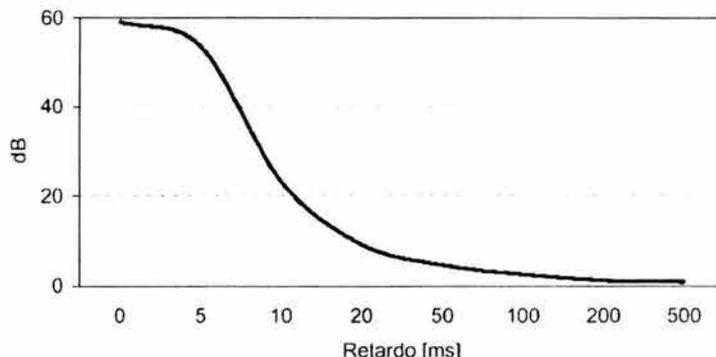


Fig.1.5 Enmascaramiento Temporal

En una señal de audio más compleja, con multitud de frecuencias de distintas intensidades sonando al mismo tiempo, ambos fenómenos interactúan (enmascaramiento frecuencial y temporal), produciendo una curva como se muestra en la Fig.1.6.

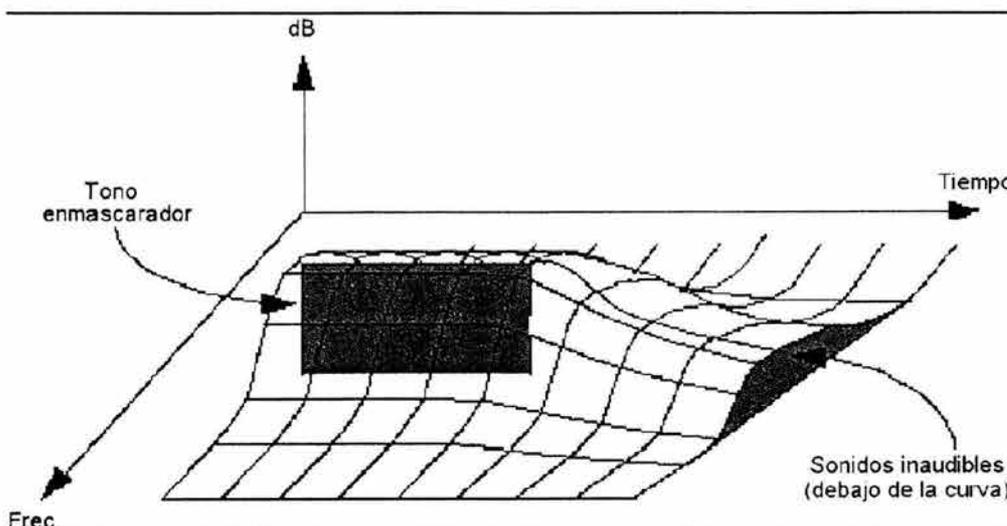


Fig. 1.6. Efecto Total de Enmascaramiento Temporal y Frecuencial

### **Implementación de los Principios Psicoacústicos:**

Estos principios psicoacústicos son los elementos fundamentales necesarios para comprender el funcionamiento de un codificador PAC, es decir, las técnicas PAC de reducción de datos basan su funcionamiento en estos dos fenómenos de enmascaramiento, frecuencial y temporal, y en el concepto de bandas críticas para alcanzar radios de compresión, varias veces superiores a los alcanzados por otras técnicas menos complejas. Existen en la actualidad numerosas implementaciones distintas de las técnicas PAC (PASC, ATRAC, AC3, MPEG, etc.), cada una de ellas con sus características particulares de acuerdo a la aplicación para la cual fueron desarrolladas.

#### **1.4 Codificadores en el Dominio de la Frecuencia**

Este tipo de codificadores buscan reproducir la forma de onda de la señal sin tomar en cuenta su naturaleza, dividen la señal en distintas componentes en frecuencia y codifican cada una de éstas en forma independiente. El número de bits usados para codificar cada componente en frecuencia puede variar dinámicamente.

Algunas técnicas de codificación en el dominio de la frecuencia son:

- Codificación por sub-bandas
- Codificación por transformada

#### **Codificación por Sub-bandas**

La codificación por sub-bandas imita el mecanismo de análisis en frecuencia del oído, divide el espectro de audio en un gran número de bandas, ya que la mayoría de las bandas contienen señales cuyo nivel es inferior al de la señal más alta, pueden ser cuantizadas independientemente. El error de cuantización que resulta es confinado a los límites de frecuencia de la banda y así este puede arreglarse para ser enmascarado por el material del programa.

La codificación por sub-bandas aprovecha que los sonidos reales no tienen energía espectral uniforme. Cuando una señal así es transmitida por PCM, todo el rango dinámico es ocupado únicamente por la componente espectral más alta, y todas las demás componentes son codificadas con excesivo headroom (área entre el nivel normal de funcionamiento y el nivel de recorte).

Esta codificación funciona dividiendo la señal en un número de bandas, comprimiendo y expandiendo cada banda de acuerdo con su propio nivel. Las bandas en las que hay poca energía tienen amplitudes pequeñas que pueden transmitirse con una longitud de palabra corta. Por tanto, cada banda se traduce en muestras de longitud variable, pero la suma de todas las longitudes de palabra de la muestra es inferior a la de la PCM, pudiendo obtenerse así una ganancia de codificación.

El número de sub-bandas depende de qué otra técnica de compresión se vaya a combinar con la codificación por sub-bandas. Si se utiliza la compresión basada en enmascaramiento auditivo, es preferible que las sub-bandas sean más estrechas que las bandas críticas del oído y por tanto, se requerirá un gran número; así, por ejemplo en MPEG y PASC (Precision Adaptive Subband Coding) se emplean 32 sub-bandas.

En la Fig.1.7 se observa que cuanto más estrecha es la sub-banda, mayor es el ruido de recuantización que puede enmascarse. No obstante, si se utiliza un número excesivo de sub-bandas acentúa la complejidad y el retardo de codificación y también arriesga el pre-eco en los transitorios que exceden el enmascaramiento temporal.

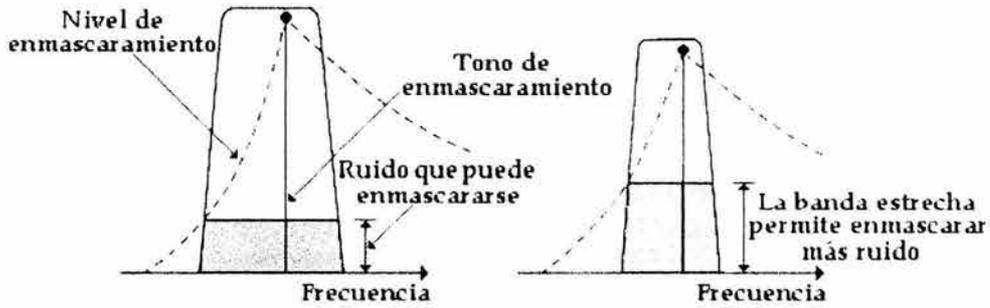


Fig. 1.7 Enmascaramiento

En la codificación por sub-bandas, el caso más desfavorable tiene lugar cuando el tono de enmascaramiento se encuentra en el límite superior de la sub-banda

Las Figuras 1-8 y 1-9 muestran los diagramas de bloques de un codificador y un decodificador por sub-bandas. Los datos descompuestos de la sub-banda se organizan en bloques de tamaño fijo, antes del proceso de reducción. Los bloques de las sub-bandas también se denominan bins de frecuencia.

La ganancia de codificación se obtiene cuando la forma de onda de cada banda pasa a través de un recuantización. La recuantización se consigue multiplicando los valores de las muestras por una constante y redondeando el resultado. Cuanto menor es la longitud de palabra, mayor es la ganancia de codificación, pero más toscos resultan los escalones de cuantización y, por tanto, el nivel de error de cuantización.

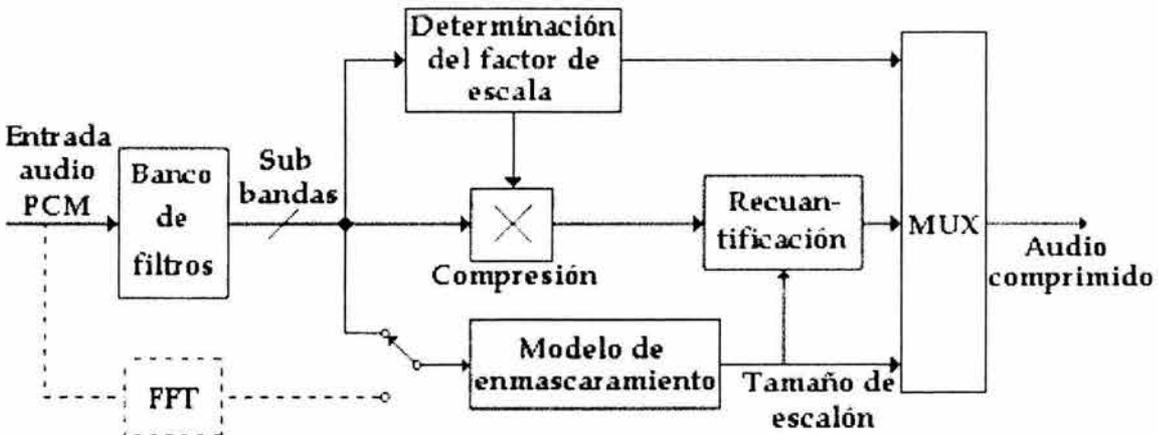


Fig.1.8 Diagrama de Bloques de un Codificador de sub-bandas

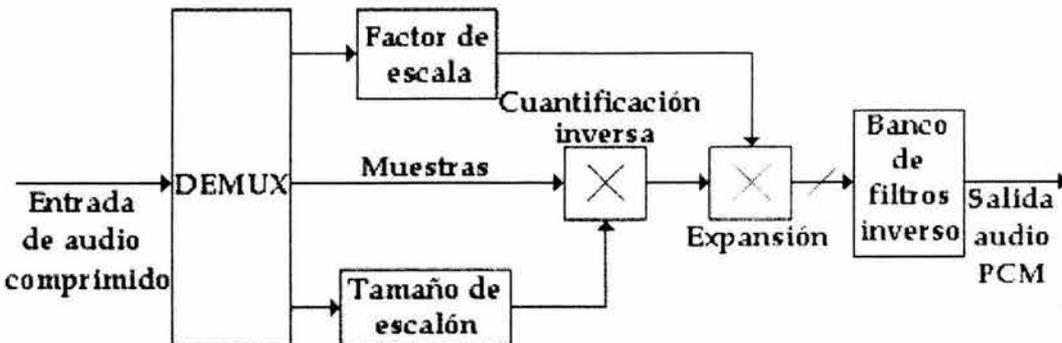


Fig.1.9 Diagrama de bloques de un decodificador de sub-bandas

### Codificación por Transformada

Aquí la forma de onda es convertida a una representación en el dominio de la frecuencia con una transformada de Fourier, del Coseno o Wavelet.

La codificación por transformada toma ventaja del hecho de que la amplitud cambia relativamente despacio así los coeficientes de la transformada pueden transmitirse con poca frecuencia. Tal aproximación se estropea en presencia de transitorios y se requieren en la práctica sistemas adaptables. Los transitorios causan que los coeficientes puedan ser frecuentemente actualizados mientras que en las partes estacionarias, la tasa de actualización puede reducirse.

Las transformadas prácticas requieren bloques de muestras en lugar de cadenas interminables. La solución está en cortar la forma de onda en cortos segmentos solapados y, seguidamente, transformar cada uno de ellos tal como indica la Fig. 1.10. De este modo, cada muestra de entrada aparece en sólo dos transformadas.

La complejidad de la FFT nos lleva a emplear la Transformada Discreta del Coseno (DCT). Esta presenta una ventaja cuando se utiliza con ventanas solapadas. Se usan ventanas con un solapamiento del 50%. De este modo, se obtiene el doble de coeficientes necesarios, que se submuestrean por un factor de dos para obtener una transformada muestreada críticamente, lo cual tiene como resultado un efecto de aliasing potencial.

Sin embargo, variando levemente la transformada, los productos de aliasing en la segunda mitad son iguales en tamaño, pero de polaridad opuesta, por lo que se eliminarán (Igual que en el tiempo TDAC, Time Domain Aliasing Cancellation). La Fig.1.10 muestra si se produce un transitorio hacia el extremo final de un bloque, el decodificador reproduce la forma de onda correctamente, pero el ruido de cuantificación comenzará al principio del bloque y puede dar lugar a un pre-eco en el que el ruido se oye antes que el transitorio.

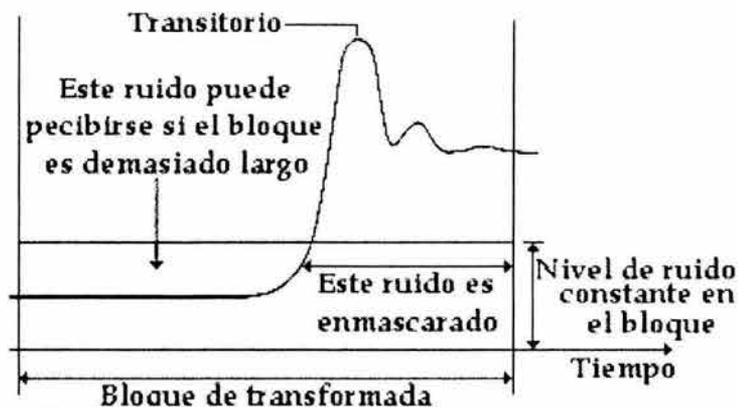


Fig. 1-11. Transitorio en el final de un bloque de una transformada

La solución es utilizar una ventana de tiempo variable de acuerdo con el contenido del transitorio de la forma de onda de audio.

### 1.5 Técnicas de Codificación de Audio

Para que las aplicaciones de audio digitales que implican el almacenamiento o transmisión resulten viables en el mercado actual, necesitamos estándares de compresión que permitan la interoperabilidad de equipos producidos por fabricantes diferentes. En este contexto revisaremos algunos de los más prominentes estándares de compresión de audio.

- MPEG
- SBR

### 1.5.1 MPEG

Existen numerosos formatos pensados para la compresión de audio y se pueden dividir en estándares internacionales y diseños propietarios.

El ISO (International Standardization Organization) y el IEC (International Electrotechnical Commission) reconocen la importancia de esto y en 1988 establecen el MPEG (Moving Picture Experts Group) que es un grupo de trabajo del subcomité del ISO/IEC encargado del desarrollo de las normas internacionales para la compresión, descompresión, procesado y codificación de imágenes animadas, audio o la combinación de ambas. El MPEG define la sintaxis de las señales digitales correspondientes a audio y vídeo tanto de origen natural como sintetizado, describe su estructura y contenido y regula el funcionamiento de decodificadores estandarizados. El MPEG no define los algoritmos de codificación. Esto permite una mejora continuada de los codificadores y su adaptación a aplicaciones específicas dentro de la norma. Además de la codificación de audio y vídeo, el MPEG también define sistemas para multiplexar la información de audio y vídeo en una única señal digital, describe los métodos para verificar que las señales y los decodificadores se ajustan a la norma y publica informes técnicos con ejemplos de funcionamiento de codificadores y decodificadores. En ese mismo año el MPEG se extiende y es formado el grupo MPEG audio.

#### 1.5.1.1 MPEG Audio.

El MPEG Audio es el subgrupo del MPEG que se encarga de las normas de compresión, descompresión, procesado y codificación de audio.

Los desarrollos en la compresión de audio fueron avanzando con la formación del MPEG audio, pero no iniciaron de cero, porque como parte del proyecto Eureka 147 se había desarrollado un sistema conocido como MUSICAM (Masking pattern adapted Universal sub-band Integrated Coding and Multiplexing) que fue desarrollado en conjunto con CCETT en Francia, IRT en Alemania y Philips en Holanda.

Al mismo tiempo fue desarrollado el ASPEC (Adaptative Spectral Perceptual Entropy Coding) conjuntamente por los laboratorios AT&T, Thomson, the Fraunhofer Society y CNET.

Como resultado de estos dos sistemas, MPEG audio combinó los atributos de ambos en un estándar con tres niveles de complejidad, retardo y calidad de salida creciente. Estos niveles son conocidos como capas y son necesarias para utilizarse en distintas aplicaciones. Pues los codificadores de audio trabajan con distintos factores de compresión, con diferente calidad y modos de trabajo. Cada una de las capas incorpora los bloques funcionales de las capas inferiores.

- La capa 1 Es también llamada "pre-MUSICAM" pues sólo considera el enmascaramiento frecuencial. Utiliza el algoritmo PASC (Precision Adaptative Subband Coding) desarrollado por Philips y utiliza una velocidad fija entre las 14 posibles (de 32 a 448 [kbps]); la calidad Hi-Fi necesita 192 [kbps] por canal de audio y 384 [kbps] en estéreo. Su principal ventaja es la relativa sencillez para implementar el codificador y el decodificador. La cuantificación de los coeficientes de sub-bandas está definida para toda la duración de la trama por un número de 4 bits, permitiendo una codificación de 0 a 15 bits para cada sub-banda, así como el factor de escala sobre 6 bits.
- La capa 2 considera además el enmascaramiento temporal estudiando 3 tramas a la vez. Su algoritmo se conoce bajo el nombre de MUSICAM europeas. Permite obtener una calidad equivalente con un flujo menor (reducción del 30% al 50%) que el de la capa 1, a costa de un incremento moderado de la complejidad tanto del codificador como del decodificador.

El flujo constante, puede escogerse entre 32 y 192 [kbps] por canal, la calidad subjetiva Hi-Fi se obtiene a partir de 128 [kbps] por canal, es decir, 256 [kbps] en estéreo. El modelo

psicoacústico utilizado es el mismo que para la capa 1, pero la trama tiene el triple de duración, lo que reduce la proporción de bits en el sistema, haciendo que la cuantificación de los coeficientes de sub-bandas tenga una resolución decreciente (cuantificación definida sobre 4 bits para las bandas bajas, 3 bits para las medias, 2 bits para las elevadas) en lugar del formato uniforme sobre 4 bits de la capa 1. Por otro lado, 3 muestreos de sub-banda consecutivos pueden ser eventualmente reagrupados para ser codificados por un sólo coeficiente, de ahí la reducción del flujo.

- La capa 3 utiliza filtros no lineales, elimina redundancias provocadas por el muestreo y utiliza codificación de Huffman. Es de desarrollo más reciente y utiliza un modelo psicoacústico diferente, una codificación Huffman y un análisis de la señal basado en la MDCT en vez de la codificación en sub-bandas de las capas 1 y 2. Están permitidos los dos tipos de codificación de estéreo conjunto. Permite un flujo variable y una tasa de compresión aproximadamente dos veces más elevada que la capa 2, a costa de una complejidad claramente mayor del codificador y del decodificador, así como de un tiempo de codificación/decodificación más largo. La calidad Hi-Fi se obtiene a partir de los 64 [kbps] por canal (128 [kbps] en estéreo).

Las capas MPEG de audio soportan compatibilidad ascendente entre ellas, es decir, que un decodificador de capa 3 decodificará también las capas 1 y 2, y que un decodificador de la capa 2, normalmente decodificará la capa 1.

Formato Compresión Tasa de bits señal estéreo [kbps]		
Capa 1	4 a 1	384
Capa 2	6 a 1	256
	8 a 1	192
Capa 3	10 a 1	128
	12 a 1	112

Tabla 1.2 Capas MPEG-1

La trama constituye la unidad de acceso elemental para una frecuencia de audio MPEG. Una trama (capa 1, 2 ó 3), se descompone en 4 partes:

- Cabecera de 32 bits (header)
- Paridad sobre 16 bits (CRC)
- Datos de audio (AUDIO), longitud variable
- Datos auxiliares (AD, ancillary data)

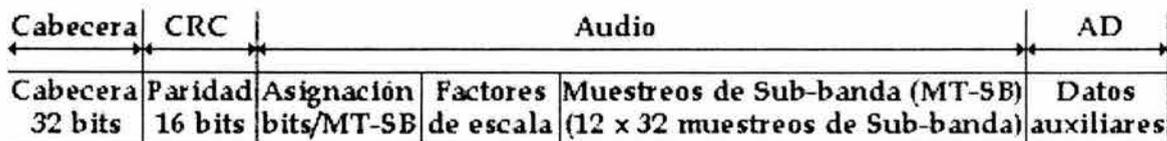


Fig.1.11 Representación de la Estructura de una Trama MPEG de Audio, Capa 1

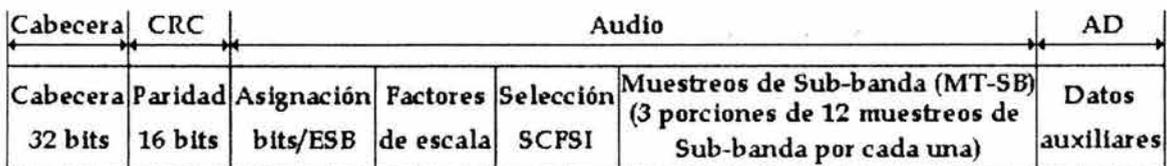


Fig.1.13 Representación de la Estructura de una Trama MPEG de Audio, Capa 2

### 1.5.1.2 Fases de MPEG

También MPEG trabaja por fases, estas fases se identifican como (MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, MPEG-7) y no describen diversas versiones de una única norma, sino que son normas completamente distintas que se encargan de aspectos diferentes de la comunicación multimedia. Así, las últimas fases no remplazan a las anteriores sino que las complementan. Tanto en MPEG-1 como en MPEG-2 están definidas las tres capas diferentes (Capa I, Capa II y Capa III).

El concepto de versión sólo se usa en MPEG-4. La versión 1 de MPEG-4 proporciona una serie de herramientas para la codificación del audio, con la versión 2, se añaden nuevas herramientas que incrementan la utilidad pero que no reemplazan a las herramientas de la versión 1.

#### ➤ MPEG-1 (ISO/IEC 11172-3)

Contempla la codificación de uno (mono) o dos (estéreo) canales de audio digital con frecuencias de muestreo de 32, 44.1 ó 48 [kHz]. La velocidad de transmisión varía entre 32 y 448 [kbps] en la Capa I, entre 32 y 384 [kbps] en la Capa II, y entre 32 y 320 [kbps] en la Capa III. MPEG-1 soporta cuatro modos de trabajo:

Monofónico: consiste en un único canal de audio.

Monofónico dual: dos canales independientes de audio.

Estéreo: canal estéreo que comparte bits, pero no usa codificación conjunta.

Estéreo conjunto: se usa la correlación entre los dos canales estéreo para representar más eficientemente la señal.

El esquema del funcionamiento de las capas 1 y 2 se muestra en la Fig.1.13 y las funciones implementadas se pueden resumir en los siguientes pasos:

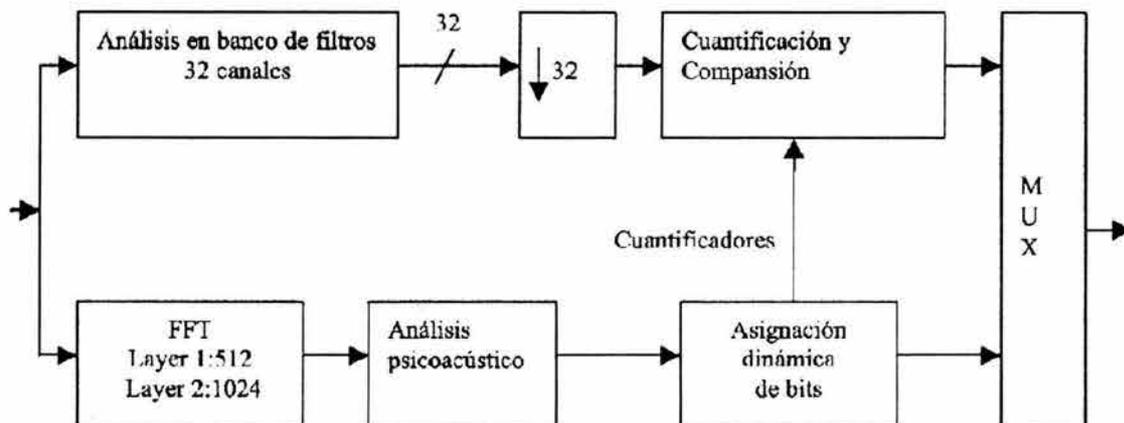


Fig.1.13 Codificación de Audio MPEG capas 1 y 2

- Se divide la señal de entrada en 32 subbandas, usando un banco de filtros paso banda equiespaciados.
- Las señales de cada una de las bandas se diezma, de forma que la nueva frecuencia de muestreo sea de 1500 [Hz] y el ancho de banda de cada señal de 24 [kHz]/32=750 [Hz] (cuando la frecuencia de muestreo de la señal de entrada es de 48 [kHz]).

- Se determinan los umbrales de enmascaramiento, denominados en la terminología inglesa "just noticeable distortion (JND)", o valor de la distorsión a partir del cual empieza a ser perceptible. Para ello se calcula una FFT para cada 12 muestras de entrada (8 [ms] a 48 [kHz]). La FFT se realiza de 512 puntos en la capa 1 y de 1024 en la capa 2. El número de niveles de cuantificación para cada componente espectral se obtiene mediante reglas de asignación dinámica de bits.
- Se normalizan los bloques de cada banda por un factor de escala de forma que la muestra de mayor amplitud dentro de cada bloque tenga una amplitud máxima unitaria.
- Se realiza un proceso iterativo de asignación de bits que aplica los umbrales JND para seleccionar el cuantificador óptimo a partir de un conjunto prefijado de cuantificadores para cada sub-banda.
- Se escoge el cuantificador de forma que se cumplan simultáneamente los requerimientos de velocidad de transferencia y enmascaramiento
- Se cuantifican los factores de escala de cada una de las sub-bandas usando 6 bits. El nivel de cuantificación escogido se codifica con 4 bits.

La capa 2 es muy similar, pero mejora la calidad del audio decodificado con una transferencia aún menor. Para conseguirlo, requiere un retardo y complejidad computacional mayores. La mejora se consigue a costa de:

- La determinación de los umbrales psicoacústicos es más precisa, puesto que al usar una FFT de 1024 puntos, en vez de 512, proporciona una mayor resolución frecuencial.
- La información de los factores de escala se comprime considerando las propiedades de tres bloques adyacentes de 12 muestras, y transmitiendo de forma opcional 1, 2 ó 3 factores de escala (dependiendo de la importancia de los cambios entre los factores), así como 2 bits adicionales para indicar cuántos se envían. Este método supone una reducción típica respecto a la capa 1, del 50% del número de bits necesarios para enviar los factores de escala. Lógicamente, el hecho de considerar tres bloques consecutivos supone incrementar el retardo.
- Se incrementa la resolución máxima de los cuantificadores de cada sub-banda a 16 bits (el límite de la capa 1 son 15 bits). El cuantificador de 16 bits se usa para prevenir efectos de sobrecarga. Y para reducir la tasa de bits se reduce el número de cuantificadores distintos disponibles, a medida que aumenta el orden de la banda. Por tanto, en las altas frecuencias existe un conjunto de cuantificadores posibles menor al disponible para las bajas frecuencias.

El esquema de codificación de la capa 3 cambia respecto a las anteriores. La Fig.1.14 muestra el esquema de bloques simplificado. El codificador de la capa 3 utiliza un banco de filtros híbridos conmutados para incrementar la resolución frecuencial y de esta forma aproximar mejor el comportamiento de las bandas críticas. También se usa una segmentación adaptativa para controlar el control de pre-eco, cuantificación no uniforme y codificación entrópica. También incorpora una técnica de reserva de bits para reducir la transferencia. Por otra parte, el esquema de capa 3 es el único que obliga al decodificador a soportar transferencias variables.

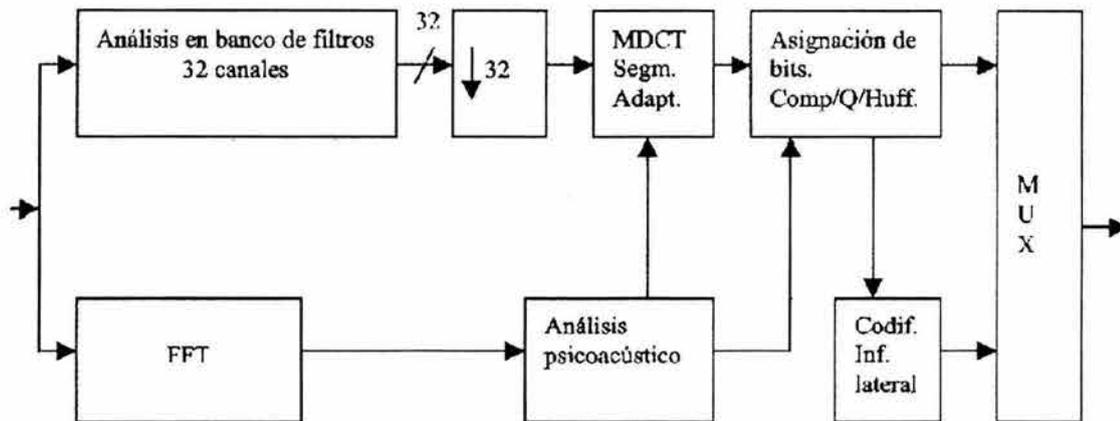


Fig.1.14 Esquema del Codificador MPEG capa 3

### Banco de filtros híbridos conmutados

Para conseguir una mayor resolución frecuencial que emule las bandas críticas, se subdivide cada una de las 32 bandas mediante una transformada MDCT con 6 u 8 puntos y 50% de solapamiento. De esta forma la ventana contiene 12 ó 36 muestras respectivamente. El número máximo de componentes frecuenciales serán de  $32 \times 18 = 576$ , dando lugar a un ancho de banda de  $24000/576 = 41.67$  [Hz] en cada banda. Usando 6 puntos la resolución frecuencial es lógicamente menor, pero la temporal es mayor, y se aplica en aquellas zonas en las que cabe esperar efectos de pre-eco (transiciones bruscas de silencios a altos niveles energéticos, como por ejemplo justo antes de un sonido percusivo). En estos casos se producirá un transitorio con elevados errores de cuantificación, debido a la saturación del cuantificador. Cuando se aplica la transformada inversa a los coeficientes, el resultado es que el error se distribuye por toda la ventana, de forma que las partes de silencio ya no son silencio, sino que presentan parte de la energía de la parte de trama más energética. En estos casos, el uso de ventanas temporales pequeñas limita el efecto de pre-eco a un número de muestras más pequeño que con ventanas grandes. El pre-enmascaramiento temporal evita que dicha distorsión sea audible. Hablar de conmutación de ventanas se refiere a variar el tamaño de la ventana de análisis en función de las necesidades.

### Cuantificación no Uniforme

Las muestras resultantes de la MDCT se cuantifican no uniformemente, de forma que se puede controlar mejor los errores de cuantificación. Para representar de forma eficiente los índices a la salida del cuantificador se usan 32 tablas de códigos de Huffman y a su resultado se aplica codificación RLE (run length encoding). El codificador convierte la señal de transferencia variable en una fija, monitorizando el estado del buffer de reserva de bits.

### Codificación de Análisis por Síntesis

El esquema de capa 3 utiliza un método iterativo de análisis por síntesis de forma que el proceso de escalado, cuantificación y codificación se realiza en dos bucles iterativos anidados. El bucle más interno ajusta los pasos del cuantificador de cada bloque hasta que el número de bits asignados coincide con los requerimientos de transferencia. El bucle externo evalúa la calidad de la señal que decodificará el receptor.

Existen dos versiones del estándar MPEG-2. La primera es compatible con MPEG-1 Y la segunda versión de MPEG-2 (aprobada en abril de 1997) no es compatible con MPEG-1. Recibe el nombre

de MPEG-Advanced Audio Coding, y ofrece índices de compresión mayores. Para ello utiliza un banco de filtros de alta resolución, técnicas predictivas y codificación sin error.

➤ **MPEG-2 BC (ISO/IEC 13818-3)**

Es una ampliación retrocompatible (BC=Backwards Compatible) de la norma MPEG-1. Admite hasta 5 canales principales más un canal LFE (Low Frequency Enhancement = refuerzo de bajas frecuencias). Aumenta la velocidad de transmisión hasta aproximadamente 1[Mbps].

Tiene un formato de canales 3/2, con los canales izquierdo (L), centro (C), derecho (R), e izquierdo (LS) y derecho (RS) de ambiente (surround), los cuales no pueden ser decodificados por MPEG-1. Si la salida del codificador MPEG-2 se envía a un decodificador MPEG-2, entonces el esquema del decodificador MPEG-2 será análogo al del codificador de la Fig. 1.15, pero en orden inverso.

Permite el uso de frecuencias de muestreo menores: 16, 22.05 y 24 [kHz] para velocidades de transmisión entre 32 y 256 [kbps] Capa I, y entre 8 y 160 [kbps] Capa II y Capa III.

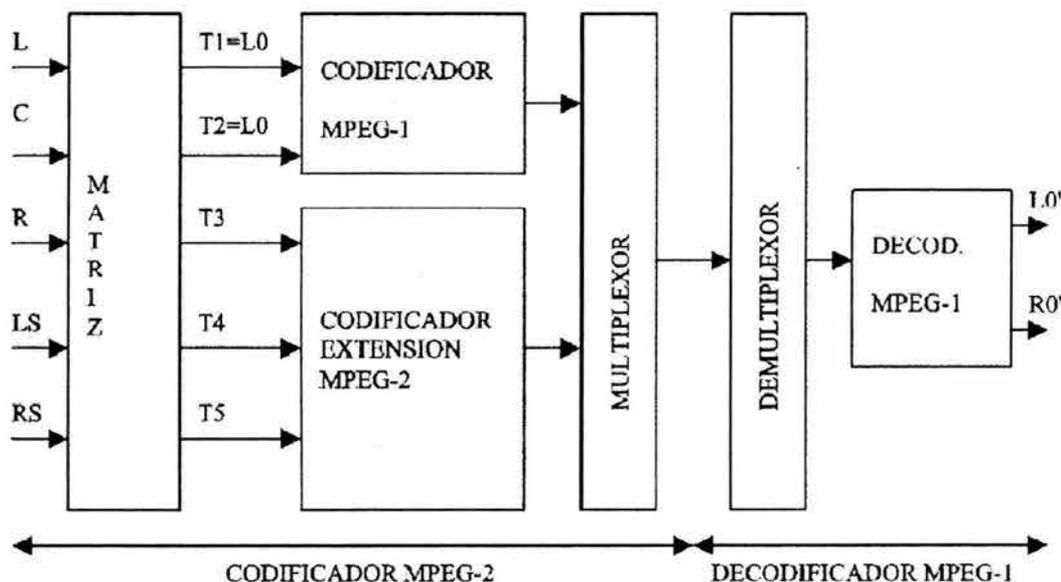


Fig.1-15 Esquema de Codificador MPEG-2 Compatible con MPEG-1

➤ **MPEG-2 AAC (ISO/IEC 13818-7)**

Es una norma de compresión de muy alta calidad. Admite hasta 48 canales de audio y frecuencias de muestreo desde 8 hasta 96 [kHz]. Con capacidad multicanal, multi-idioma y multiprograma. Las velocidades de transmisión van desde 8 [kbps] (señal vocal monofónica) hasta más de 160 [kbps] por canal para señales de muy alta calidad que permiten ciclos múltiples de codificación-decodificación.

El estándar MPEG-2 AAC prevé tres perfiles. Perfil principal, ofrece la mayor calidad posible. Perfil de baja complejidad, no utiliza predicción temporal. Perfil de frecuencia de muestreo escalable, proporciona la complejidad más baja.

➤ **MPEG-4 (ISO/IEC 14496-3)**

Aceptado como estándar en noviembre de 1998, abarca un campo de aplicaciones mucho mayor que sus predecesores, incluyendo multimedia. MPEG-4 ofrece índices de compresión elevados y abarca desde audio de alta fidelidad a voz y audio sintéticos. Además, MPEG-4 ofrece una serie de herramientas para representar, integrar e intercambiar fragmentos de información audiovisual. Las señales sintéticas hacen referencia, por ejemplo, a una señal de voz generada a partir de un texto.

Para lograr la mayor calidad posible a todas las velocidades de transferencia, define tres tipos de estructuras de codificación:

- Codificación paramétrica para la transferencia más baja (2 a 4 [kbps] para voz muestreada a 8 [kHz], y 4 a 16 [kbps] para audio muestreado entre 8 y 16 kHz).
- Codificación CELP para voz a velocidades medias. Trabaja entre 6 y 24 [kbps] para frecuencias de muestreo de voz en banda estrecha (muestreada a 8 [kHz]) y banda ancha (muestreada a 16 [kHz]).
- Técnicas de codificación tiempo-frecuencia para transferencias por encima de los 16 [kbps].

Se basa en el concepto de Audio Estructurado que permite representar sonidos naturales (como la voz y la música) y sintetizar cualquier tipo de sonido basándose en descripciones estructuradas. Esto permitirá, por ejemplo, transmitir un texto junto con la prosodia deseada (entonación, duración de los fonemas, etc.) y generar en destino la voz correspondiente. Una de las muchas ventajas es que se podrá transmitir voz con velocidades de transmisión inferiores a 1 [kbps] (posiblemente elegir en qué idioma queremos escucharla).

La norma contempla:

- Codificación y composición de objetos sonoros tanto naturales como sintéticos.
  - Escalado de la velocidad de transmisión de la señal de audio digital.
  - Escalado de la complejidad tanto del codificador como del decodificador.
  - Audio estructurado para síntesis sonora controlada por guiones.
  - Interfaz para sistemas de conversión de texto en diálogos.
- **MPEG-7 (ISO/IEC 15938)**  
Esta norma, que a diferencia de las anteriores no define algoritmos de compresión, proporcionará:
- Descripciones normalizadas y esquemas descriptivos de estructuras de audio y contenidos sonoros.
  - El lenguaje para implementar estas descripciones y esquemas descriptivos

### 1.5.2 SBR

En la última década, los grandes avances de la codificación de audio se han hecho para la reducción en la tasa de transmisión. Los codificadores de audio de percepción, rápidos y eficaces como el MPEG capa III y MPEG-2 AAC han demostrado entregar audio de calidad con poco o nada de pérdida perceptiva, en tasas de transmisión de hasta 64 [kbps].

Mientras tanto, en la codificación para transportar audio satisfactoriamente sobre conexiones de bajo ancho de banda, tales como líneas telefónicas analógicas, no han tenido buenos resultados. Los fabricantes de equipo han avanzado en varios esquemas propios, pero ninguno ha representado una mejora substancial del equilibrio entre compresión y calidad. Así, otro acercamiento a la codificación para la transmisión en bajos anchos de banda se ha alcanzado con la introducción del Spectral Band Replication (SBR) desarrollado por Coding Technologies.

#### Limitaciones en los métodos previos de codificación

Las conexiones con bajas tasas de bit logísticamente, siguen siendo una necesidad. Pues la tecnología moderna lucha para hacer uso de la infraestructura analógica existente para la transmisión de usos digitales.

Además, la codificación de audio con tasas de bit bajas es una tecnología disponible para los usos tales como radio digital, usos móviles, transmisión de audio de posiciones remotas a una central de difusión usando la red telefónica pública.

Se pueden utilizar los codificadores de percepción para tasas de bit bajas, sin embargo, esto es una desventaja. Los codificadores de audio basados en la percepción avanzados alcanzan calidad CD o calidad transparente de audio en una tasa de bit de aproximadamente 128 [kbps] (compresión 12:1). Debajo de 128 [kbps], la calidad audio percibida de la mayoría de estos codificadores comienza a degradarse perceptiblemente. Los codificadores comienzan a reducir el ancho de banda de audio y a modificar la imagen estéreo o introducen artefactos molestos propios de la codificación resultado de una escasez de bits en la tentativa de representar el ancho de banda de audio completo. Ambas maneras de modificar el sonido percibido se pueden considerar inaceptables sobre cierto nivel. En 64 [kbps] por ejemplo, MP3 ofrecería ancho de banda solamente de 10 [kHz] o introduciría una cantidad importante de ruido de codificación. Cada uno de estos factores afecta seriamente la experiencia del radioescucha.

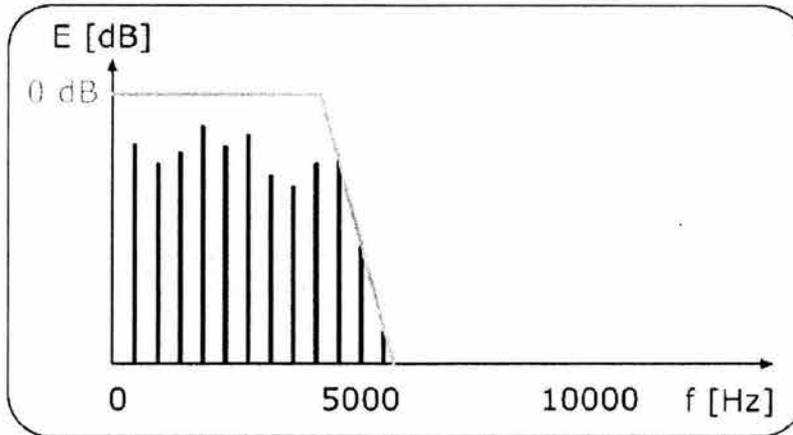


Fig.1-16 Efectos de Limitación de Banda en una Señal de Audio Típica

Conquistando las restricciones de los codificadores de percepción anteriores para proporcionar un nuevo método de codificación que trabaje bien con bajos anchos de banda se requiere una nueva tecnología que pueda trabajar compatiblemente con métodos existentes de codificación para mejorar substancialmente sus capacidades.

### 1.5.2.1 Posibilidades Técnicas de SBR

SBR, una nueva herramienta de codificación de audio desarrollada por Coding Technologies, mejora el funcionamiento de los codificadores de bajas tasas de audio y del habla, aumentando el ancho de banda usado en codificadores existentes, para una tasa de bit dada, o mejorando eficacia de la codificación en un nivel de calidad dado.

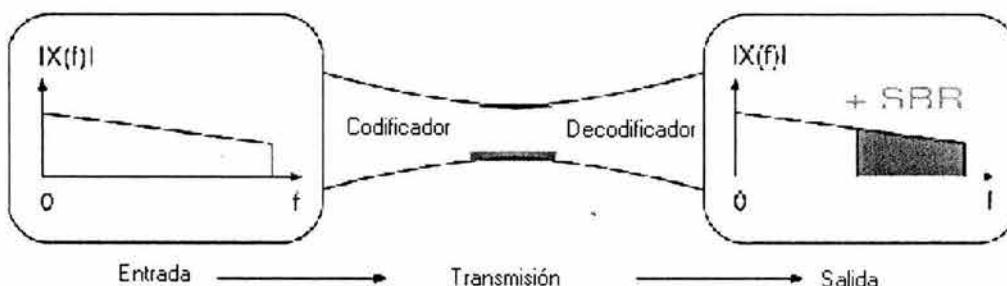
SBR puede aumentar el limitado ancho de banda que un codificador de percepción convencional ofrece en las tasas de bit bajas, de modo que iguale o exceda el ancho de banda de audio análogo de FM (15 [kHz]). SBR puede también mejorar el funcionamiento de los codificadores de banda estrecha, ofreciendo canales para el habla con 12 [kHz] de audio. Por tanto, SBR es importante no solo para mejorar calidad, sino también para mejorar inteligibilidad y la comprensión del habla.

Desde un punto de vista técnico, SBR hace posible la codificación eficiente para frecuencias altas en algoritmos de compresión de audio. Cuando otro codificador es utilizado conjuntamente con SBR, el codificador subyacente es solamente responsable de transmitir la parte inferior del espectro y así, puede estar funcionado en una tasa reducida de muestreo. El decodificador de SBR genera las frecuencias más altas, donde es principalmente un post-procesador siguiendo la forma de onda del decodificador convencional.

En vez de transmitir el espectro, SBR reconstruye las frecuencias más altas en el decodificador basado en un análisis de las frecuencias más bajas transmitidas en el codificador subyacente. Para asegurar una reconstrucción exacta, una cierta información de la dirección se transmite con una tasa de bit muy baja.

La reconstrucción de estas altas frecuencias es eficiente para los armónicos, así como para las componentes del ruido y permite formar un espectro apropiado en el dominio de tiempo como en el dominio de la frecuencia. Consecuentemente, SBR permite la codificación del ancho de banda completo en muy bajas tasas de bit, esto significa aumentar la eficiencia de la compresión del codificador.

En términos del funcionamiento, SBR puede realzar la eficiencia de los codificadores de audio de percepción aproximadamente 30% de las bajas tasas de bit.



1.18 Combinación de SBR y Otras Técnicas de Codificación

El nivel exacto de la mejora también depende del codificador subyacente; por ejemplo, usar SBR conjuntamente con MP3 (llamado MP3 pro) produce calidad en estereofonía de 64 [kbps] comparable con MP3 convencional en una tasa de bit de estereofonía mejor a 100 [Kbps]. SBR ofrece eficacia máxima en la tasa de bit donde el codificador subyacente es eficiente codificando señales audio con un nivel aceptable del ruido de la codificación en un ancho de banda de audio limitado.

La técnica SBR presenta un enfoque completamente innovador en la codificación de audio, en lo que se refiere a la señal, se trabaja con métodos de sintetización de señales, con lo que se reduce considerablemente la cantidad de datos porque este volumen ya no depende de la transferencia precisa de datos de una señal de sonido codificada.

Combinar AAC con SBR da lugar una tecnología, llamada CT-aacPlus como nombre comercial. Esta mezcla aumenta grandemente la eficiencia de AAC por más del 30% según evaluaciones independientes. Consecuentemente el CT-aacPlus entrega calidad de audio digital aún debajo de 48 [kbps] para las señales estéreo y más bajas cuando es utilizado con señales monofónicas. En varias evaluaciones de calidad independientes, el CT-aacPlus puede demostrar un funcionamiento superior a tasas bajas. En las pruebas conducidas por el EBU, CT-aacPlus superó a cada uno de los codificadores que compitió con él.

La selección de CT-aacPlus para DRM y XM Satellite Radio demuestran que las ventajas de la alta eficiencia de la codificación se pueden combinar con la robustez del error para los canales difíciles de la transmisión

SBR (usada conjuntamente con AAC) se ha seleccionado como el modelo de la referencia para las tecnologías del realce del ancho de banda dentro del MPEG. Este proceso dará lugar a una extensión a la especificación MPEG-4. Se espera que MPEG-4 se convierta en un estándar extensamente utilizado.

## 2. Técnicas de Control de Errores

### 2.1 Introducción

En todos los sistemas de radiodifusión digital se encara el problema de proveer una instalación al costo más conveniente para transmitir la información con una velocidad y un nivel de confiabilidad y calidad aceptables. Los dos parámetros con los que se cuenta son la potencia de la señal transmitida y el ancho de banda del canal. Estos dos parámetros junto con la densidad espectral de potencia de ruido en el receptor, establecen la razón entre la energía de la señal por bit y la densidad espectral de potencia del ruido, para un  $\frac{E_b}{N_0}$  fijo la única opción práctica disponible para

cambiar la calidad de los datos de problemática aceptable consiste en utilizar la codificación de control de errores. El efecto de los errores que ocurren durante la transmisión se reduce agregando redundancia a los datos antes de la transmisión de manera controlada.

Esta codificación a la entrada del canal, cuyo objetivo es que el receptor sea capaz de detectar y corregir los errores producidos en los datos durante su transmisión por el canal es llamada codificación de canal. La codificación de canal consiste en introducir redundancia, de forma que sea posible reconstruir la secuencia de datos original de la forma más fiable posible. A medida que el control de errores ha sido de mayor interés se utiliza la codificación en dos diferentes aproximaciones, esto es, detección de errores y corrección de errores.

- Detección de errores o corrección hacia atrás ARQ (Automatic Repeat Request): Cuando el receptor detecta un error solicita al emisor la repetición del bloque de datos transmitido. El emisor retransmitirá los datos tantas veces como sea necesario hasta que los datos se reciban sin errores.
- Corrección de errores o corrección hacia adelante o directa FEC(Forward Error Correction): Se basa en el uso de códigos autocorrectores que permiten la corrección de errores en el receptor.

Los códigos han sido clasificados dentro de dos grupos básicos: esto es, códigos de bloque y códigos convolucionales. Estos se distinguen uno del otro por la ausencia o presencia de memoria, respectivamente.

### 2.2 Códigos de Bloque Lineales

Se dice que un código es lineal si cualquiera dos palabras del código pueden sumarse en aritmética modulo-2 para generar una tercer palabra código. En un código de bloque lineal (n, k)

- n es el tamaño de la palabra codificada
- k es el tamaño del mensaje original. Estos k bits se envían sin alterar
- los n-k bits restantes son los bits de paridad. Es la redundancia mediante la cual se detectan y corrigen los errores

Dado esto, un mensaje sin codificar es transmitido en una tasa z, la tasa de transmisión del mensaje codificado es incrementada a (n/k)z así que el tiempo total de transmisión puede ser guardado sin alteraciones. La relación de menor dimensión es  $r = k/n$  es conocida como tasa de código y clasificada de 0 a 1. La forma de una palabra de código de un código de bloque lineal sistemático es la siguiente:

$$m_0 m_1 \dots m_{k-1} b_0 b_1 b_2 \dots b_{n-k-1}$$

donde  $m_0 \dots m_{k-1}$  son los bits del mensaje original y  $b_0 \dots b_{n-k-1}$  son los bits de paridad que se añaden como redundancia.

De esta forma, podemos expresar una palabra de código como:

$$C_0 C_1 \dots C_{n-k-1} C_{n-k} \dots C_{n-1}$$

El cálculo de los bits de paridad se realiza de la siguiente forma:

$$b_i = P_{0i} m_0 + P_{1i} m_1 + \dots + P_{k-1i} m_{k-1}$$

Donde los  $P_{ij}$  deben ser tales que la matriz generadora del código tenga filas independientes y las ecuaciones de paridad sean iguales.

Para realizar la codificación se utiliza una notación matricial. Consideraremos la palabra original, la palabra formada por los bits de paridad y la palabra de código como vectores:

$$\begin{aligned} m &= (m_0 m_1 \dots m_{k-1}) \\ b &= (b_0 b_1 \dots b_{n-k-1}) \\ c &= (c_0 c_1 \dots c_{n-1}) \end{aligned}$$

También se utiliza la matriz de coeficientes:

$$P = \begin{pmatrix} P_{00} & P_{01} & \dots & P_{0,n-k-1} \\ P_{10} & P_{11} & \dots & P_{1,n-k-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{k-1,0} & \dots & \dots & P_{k-1,n-k-1} \end{pmatrix}$$

Para realizar la codificación se utiliza la matriz generadora:

$$G = [ I_{k,k} | P ]$$

Siendo  $I_{k,k}$  la matriz identidad de tamaño  $k \times k$ .

De esta forma podemos obtener cada palabra de código a partir de cada palabra de mensaje original realizando la siguiente multiplicación:

$$c = m \cdot G$$

Para realizar la decodificación, en el destino se recibe un vector ( $c$ ) de tamaño  $n$  y lo que se puede hacer es repetir la operación realizada en la codificación, se toman los primeros  $k$  bits y se calcula la redundancia usando la matriz generadora y se comprueba si la redundancia obtenida es igual a la redundancia recibida.

Otra opción más eficiente es la basada en el concepto de síndrome.

En el proceso de decodificación basado en el síndrome se utiliza la matriz de chequeo de paridad, que se define de la siguiente forma:

$$H = [ I | P^t ]$$

$H$  tiene la propiedad de que sólo las palabras de código verifican que al multiplicarlas por  $H^t$  el resultado es el vector nulo. Esta propiedad será utilizada para la detección y corrección de errores. A cada palabra que el receptor recibe a través del canal la denominaremos palabra recibida  $r$ . Una palabra recibida la podemos expresar como:

$$r = c + e$$

Donde  $c$  es la palabra de código enviada por el emisor y  $e$  es una palabra de error. Cada componente  $e_i$  de la palabra de error podrá valer 1 si hay un error en esa posición y 0 si no lo hay. El receptor para realizar la decodificación utiliza la matriz  $H$  para calcular el vector de síndrome de error a partir de la palabra recibida. El vector de síndrome de error se obtiene de la siguiente forma:

$$s = r \cdot H^t$$

El vector de síndrome tiene tantos elementos como bits de paridad se estén usando. El vector de síndrome sólo depende de la secuencia de error y no de la palabra de código transmitida. Si en la transmisión no se ha producido un error, el síndrome es el vector nulo:

$$s = r \cdot H^t = 0$$

Si se ha producido un error la multiplicación de la palabra recibida por  $H^t$  nos da un vector que es igual a una de las filas de  $H^t$ . La posición que ocupa esa fila es la posición donde hay un error.

➤ Para la detección y corrección de errores simples la matriz H debe cumplir:

- 1- Todas las columnas de la matriz H deben ser diferentes. Esta condición hace que se pueda localizar la posición del error.
- 2- Ninguna de las columnas de H pueden ser todas ceros. Esta condición se debe a que el síndrome es el vector nulo cuando no hay error.

➤ Cuando se quieren corregir más de un error, por ejemplo dos errores, la matriz H debe verificar:

- 1- Todas las columnas de la matriz H deben ser diferentes
- 2- Ninguna de las columnas de H pueden ser todas ceros
- 3- La suma de las columnas dos a dos debe ser diferente.  
(Si la matriz H tiene 5 columnas hay 10 sumas diferentes que se pueden hacer. Lo que dice esta propiedad es que todas ellas deben dar resultados diferentes).

Esta última condición complica el cálculo de códigos correctores de dos bits y en la práctica no se suelen utilizar. Cuando hay más de un error se pedirá una repetición de la secuencia al emisor.

### Distancia Mínima

La distancia de Hamming  $d(x,y)$  entre dos palabras código  $x$  y  $y$  esta definida como el número de 1s obtenidos después de la operación or-exclusiva bit por bit entre las dos palabras código. Por lo tanto la distancia entre 1001 y 0111 es 3.

El peso de Hamming  $w(x)$  de una palabra código  $x$  es definido como el número de unos que tenga una palabra. En el caso anterior el peso respectivo de cada palabra es 2 y 3. De la definición de la distancia de Hamming se muestra lo siguiente:

$$d(x, y) = w(x + y)$$

La distancia mínima  $d_{\min}$  de un código de bloques lineal es la menor distancia de Hamming entre cualquier par de vectores códigos en el código:

$$d_{\min} = \min\{d(x, y) : x, y \in c, x \neq y\}$$

Por consiguiente:

$$d_{\min} = \min\{w(x, y) : x, y \in c, x \neq y\}$$

En otras palabras la distancia mínima es el menor peso de Hamming del vector código, es decir el menor numero de 1's que tiene una palabra.

Para encontrar el peso de Hamming mínimo se cancela la palabra nula y sobre todas las otras se escoge el peso mínimo.

$$d_{\min} = w_{\min}$$

Distancia mínima = peso mínimo

**Corrección de Errores**

Un código (n,k) admite  $2^n$  vectores de código que contienen  $2^k$  palabras de código. La mejor estrategia de decodificación es tal que sobre la recepción de cualquier vector de código, el decodificador lo asocie con la palabra de código más cercana.

Por lo tanto, se debe buscar la distancia mínima para tener la mejor capacidad de corrección del código, entre mayor sea la distancia mínima mejor va a ser el control de errores, sin embargo n-k (símbolos redundantes que agrega el codificador) es más grande provocando que se consuma mayor ancho de banda para cubrir la redundancia.

Por lo que podemos decir que para:

$$d_{\min} \geq 2t + 1$$

Consecuentemente, se puede decir que un código de bloque lineal (n,k) puede corregir t errores tales que:

$$t \leq \left\lfloor \frac{d_{\min} - 1}{2} \right\rfloor$$

Por lo tanto para los códigos Hamming se pueden corregir los errores simples y detectar los errores dobles.

**Código de Hamming**

Un código de Hamming es un código de bloque lineal. Al igual que en los códigos de bloque lineales sistemáticos, podemos denotar un código de Hamming mediante un par (n,k). Sin embargo los valores de n y k deberán verificar una serie de condiciones:

- n es la longitud de la palabra de código
- k es el número de bits de datos de la palabra original sin codificar
- El número de bits de paridad será  $m = n - k$ , pero deberá cumplirse la siguiente relación entre la longitud de la palabra de código y el número de bits de paridad:

$$n = 2^m - 1 \quad \text{con } m \geq 3$$

- Según esto también se cumplirá la siguiente relación entre el número de bits de datos y el número de bits de paridad:

$$k = 2^m - m - 1$$

Cada uno de los bits de paridad que añadimos a una palabra original va a afectar a determinadas posiciones de la nueva palabra de código, de forma que tomarán un valor adecuado para que se cumpla el criterio de paridad (par o impar) preestablecido en las subcombinaciones afectadas por cada uno de estos bits de paridad.

El siguiente paso consistirá en determinar a que posiciones de los bits de las palabras de código afecta cada bit de paridad. Para ello construiremos todas las combinaciones posibles con m bits de paridad e interpretamos cada una en binario natural:

$b_m$ .....	$b_3$	$b_2$	$b_1$	.....	Posición
0 .....	0	0	0	.....	0
0 .....	0	0	1	.....	1
0 .....	0	1	0	.....	2
0 .....	0	1	1	.....	3
.....	.....	.....	.....	.....	.....

Cada bit de paridad va a afectar a aquellas posiciones en las que ese bit vale 1.

Bit de paridad	Posiciones
$b_1$ .....	1,3,5,7,.....
$b_2$ .....	2,3,6,7,.....
.....	.....
$b_m$ .....	$2^m, 2^m+1, 2^m+2, \dots$

Por último sólo nos queda determinar que posiciones de cada palabra de código ocupará cada bit de paridad. Los bits de paridad han de colocarse en aquellas posiciones en las que no se vean afectados por otros bits de paridad. Estas posiciones serán:

Bit de paridad	Posición
$b_1$	$2^0$
$b_2$	$2^1$
$b_3$	$2^2$
.....	.....

De esta forma queda completado el proceso de construcción de un código de Hamming. En el proceso de decodificación, el receptor recibe una palabra de un código de Hamming, y deberá comprobar si es correcta o no, y en el caso de que no fuera correcta deberá comprobar en que bit se produjo el error y corregir ese error.

Para comprobar si la palabra recibida es correcta, el receptor debe utilizar los bits de paridad de la palabra y hacer con ellos un control de paridad.

Para realizar el control de paridad creamos una palabra que tendrá un bit por cada uno de los bits de paridad utilizados. Cada uno de los bits de esta palabra tomará el valor 0 o 1 dependiendo de si el número de unos de las posiciones de la palabra de código afectadas por su correspondiente bit de paridad cumplen o no el criterio de paridad establecido. Interpretando la combinación resultante en binario natural tendremos dos posibilidades:

- que sea un 0, lo cual quiere decir que no se han producido errores en la transmisión
- que se corresponda a un número distinto de 0, lo cual quiere decir que durante la transmisión ha variado el bit situado en la posición indicada por ese número.

Una vez obtenida la palabra de código correcta, basta con quitar los bits de paridad para obtener la palabra original enviada por el emisor.

### 2.3 Códigos Cíclicos

Los códigos cíclicos son una subclase de los códigos de bloque lineales. Son fáciles de codificar y cumplen las siguientes propiedades:

- Linealidad: la suma módulo-2 de dos palabras del código es otra palabra del código.
- Cíclicos: cualquier desplazamiento cíclico de una palabra del código también pertenece al código.

Al igual que en los códigos de bloque lineales sistemáticos y en los códigos de Hamming, denotaremos un código cíclico mediante un par  $(n,k)$ , donde  $n$  es la longitud de las palabras de código y  $k$  es la longitud de una palabra original.

Para el manejo de estos códigos se utiliza una notación polinómica, de forma que una palabra de código  $C = (c_0, \dots, c_{n-1})$  la interpretaremos como un polinomio, y cada uno de los bits de la palabra de código será uno de los coeficientes de este polinomio:

$$C(x) = c_0 + c_1x + \dots + c_{n-1}x^{n-1}$$

A su vez, una palabra original  $m = (m_0, \dots, m_{k-1})$  la interpretaremos como el polinomio:

$$m(x) = m_0 + m_1x + \dots + m_{k-1}x^{k-1}$$

Para generar  $C(x)$  a partir de  $m(x)$  se usa el polinomio generador  $g(x)$  que es un factor de  $x^n+1$ . Su grado es  $n-k$ . La obtención de la palabra codificada se hace de la siguiente forma:

$$C(x) = m(x) \cdot g(x)$$

Así tenemos que un código cíclico queda perfectamente determinado por su polinomio generador. Tal y como hemos planteado estos códigos hasta el momento, los códigos cíclicos no son sistemáticos.

Para realizar el control de errores se utiliza el polinomio de chequeo de paridad, que es un polinomio de grado  $k$  tal que:

$$g(x) \cdot H(x) = x^n + 1$$

### Códigos cíclicos sistemáticos

La palabra de código de un código sistemático está formada por los bits de la palabra original y una serie de bits de paridad.

Consideraremos la palabra de mensaje como un polinomio:

$$m(x) = m_0 + m_1x + \dots + m_{k-1}x^{k-1}$$

A su vez consideraremos que los bits de paridad forman una palabra que también interpretaremos en forma de polinomio:

$$b(x) = b_0 + b_1x + \dots + b_{n-k-1}x^{n-k-1}$$

Por lo tanto la palabra de código será:

$$C(x) = x^{n-k}m(x) + b(x)$$

Teniendo en cuenta todo esto, los pasos para obtener el código cíclico sistemático son:

- Multiplicar la palabra original  $m(x)$  por  $x^{n-k}$
- Dividir  $x^{n-k}m(x)$  por  $g(x)$ , denotando el resto por  $b(x)$ . El resto es el polinomio con los bits de paridad
- La palabra codificada será:

$$c(x) = b(x) + x^{n-k}m(x)$$

Todas las operaciones se hacen en módulo-2.

Al igual que en los códigos de bloque lineales sistemáticos, para realizar el control de errores en la decodificación se utiliza el síndrome.

La palabra recibida por el receptor la denotaremos por:

$$r(x) = r_0 + r_1x + \dots + r_{n-1}x^{n-1}$$

Para calcular el síndrome utilizaremos el polinomio generador, con el cual realizaremos la siguiente división:

$$\begin{array}{r} r(x) \quad | \quad g(x) \\ \hline S(x) \quad q(x) \end{array}$$

luego  $r(x) = q(x) \cdot g(x) + S(x)$

$S(x)$  es el polinomio de síndrome, y será de un grado  $n-k-1$  o menor. El error y el síndrome coinciden, por lo tanto, si no se producen errores en la transmisión, el síndrome valdrá 0.

Si se produce un error en los bits de paridad se puede corregir sumando el síndrome a la palabra recibida.

### Códigos de Redundancia Cíclica (CRC)

Son un tipo de códigos cíclicos especialmente buenos para la detección de errores:

- Se diseñan para detectar muchas combinaciones de errores.
- La implementación práctica es sencilla. Son los que se usan en la práctica.

Existen distintos polinomios generadores basándose en pruebas:

	$g(x)$	n-k
CRC-12	$x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$	12
CRC-16	$x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$	16
CRC-ITU o CRC-CCITT	$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$	16

- Los tres contienen  $H(x)$  como factor primo
- CRC-12 se usa con palabras de datos de 6 bits
- CRC-16 y CRC-ITU con palabras de datos de 8 bits

## 2.4 Códigos Convolucionales

En un bloque codificado las palabras del código son generadas básicamente bloque por bloque. Sin embargo hay aplicaciones donde los bits del mensaje vienen en forma serial y no en bloques grandes, donde el uso de un buffer puede ser indeseable. En este tipo de situaciones donde el tiempo para realizar la decodificación es reducido se aplican los códigos convolucionales. Su nombre se debe a que la codificación se entiende como la convolución entre un vector de información con la respuesta al impulso del codificador.

Los bits de redundancia en cualquier instante son una función solamente del mensaje en ese instante. En la codificación convolucional el codificador es una máquina de estados finita que acepta los bits del mensaje de manera serial. Las palabras del código generadas en cierto instante de tiempo son una función de la entrada en ese instante y del estado de la máquina.

Un codificador convolucional  $(n, k, m)$  acepta  $k$  entradas seriales, produce  $n$  salidas, y tiene una máquina con  $2^m$  estados. Por lo tanto, si una secuencia de la información de longitud  $kL$  es codificada convolucionalmente, la palabra del código correspondiente tiene una longitud  $n(L+m)$  y la tasa del código esta dada por:

$$r = \frac{kL}{n(L+m)}$$

Esto se reduce a:

$$r = \frac{k}{n}, \text{ si } L \gg m$$

La longitud de restricción se define como el número máximo de las salidas del codificador que se pueden influenciar por un solo bit de información. Por lo tanto la longitud de restricción es dada por  $n(m+1)$ .

Sea un codificador convolucional  $(2,1,3)$

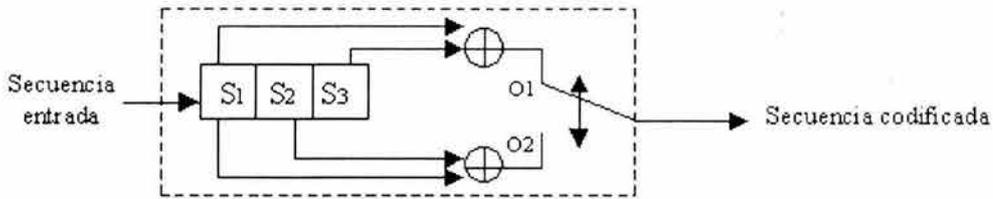


Fig. 2.1 Codificador Convolutacional (2,1,3)

Las secuencias de salida para el código anteriormente descrito:

Entrada (S3,S2,S1)	Salida (O1,O2)
000	00
001	11
010	01
011	10
100	10
101	01
110	11
111	00

Tabla 2.1 Secuencia de Salida

### Los Diagramas de Estado y Enrejado

Tradicionalmente, las propiedades estructurales de un codificador convolutacional se representan en forma gráfica, utilizando algunas de las representaciones equivalentes: árbol, enrejado y diagrama de estado.

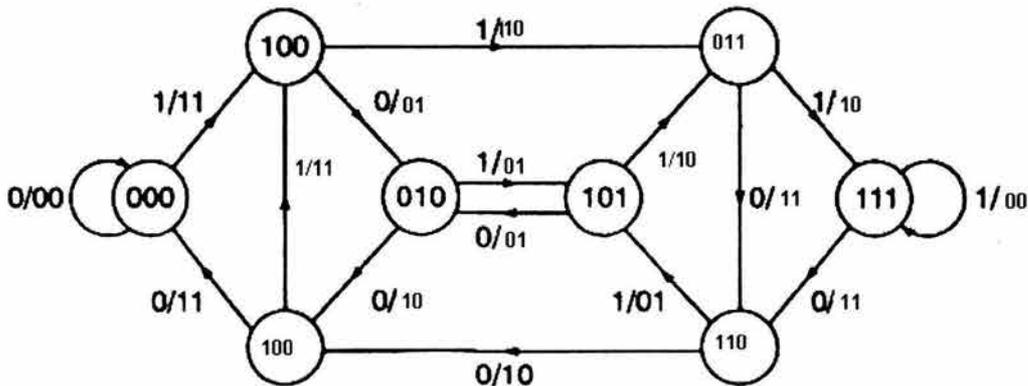


Fig. 2.2 Diagrama de Estados

El árbol del código es una representación gráfica donde cada rama representa un símbolo de entrada, con el par correspondiente de símbolos binarios de salida indicado sobre la rama. Una entrada 0 especifica una entrada superior de una bifurcación, en tanto que una entrada 1 especifica la rama inferior.

Después de un numero de ramas observamos que el árbol se vuelve repetitivo, por tanto es posible reducir el árbol en una nueva forma que recibe en nombre de diagrama de enrejado. Una rama producida por la entrada de un 0 se dibuja como una línea continua, en tanto que una producida por un 1 será una línea punteada.

En un enrejado los nodos izquierdos representan los estados posibles presentes del codificador en tanto que los de la derecha representan los estados siguientes. Podemos unir los nodos izquierdo y derecho y al hacerlo obtenemos el diagrama de estados. Los nodos de la figura representan los estados posibles del codificador, teniendo cada nodo dos ramas entrantes y dos salientes. La marca binaria sobre cada rama representa la salida del decodificador, cuando esta se mueva de un estado a otro.

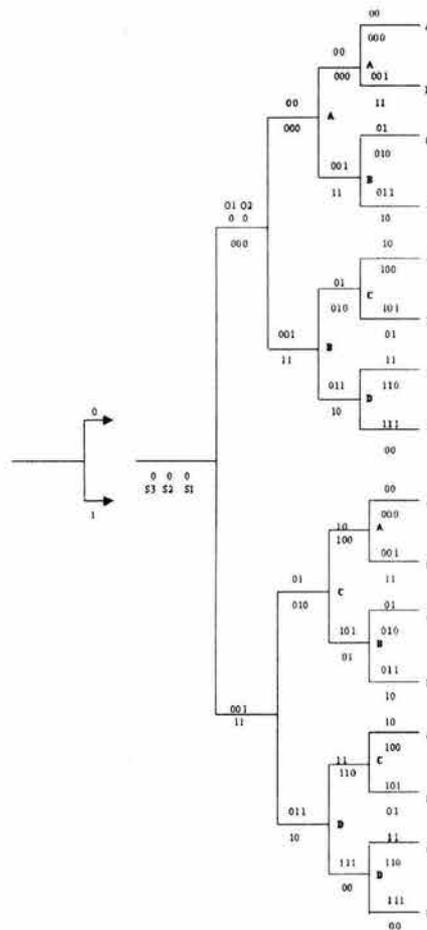


Fig. 2.3 Diagrama de Árbol

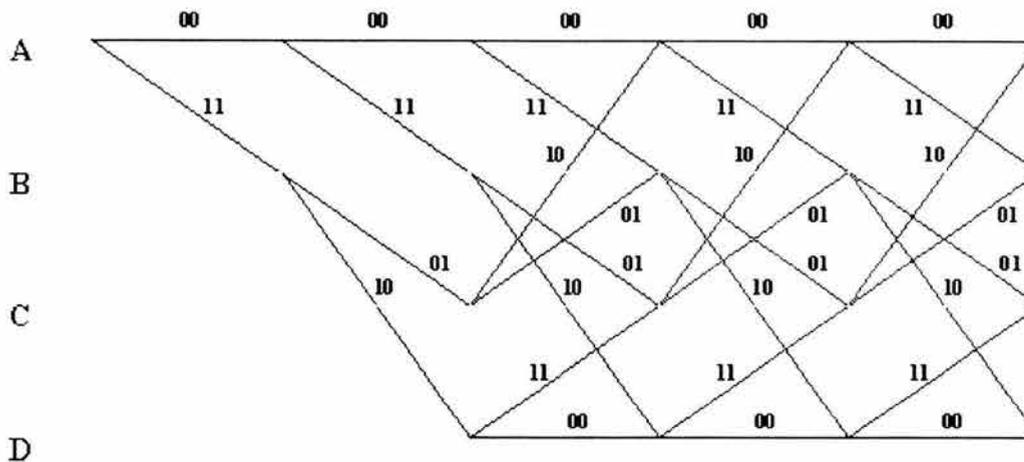


Fig. 2.4 Diagrama de Enrejado

**Decodificación del Mensaje**

Para hacer la decodificación se usa el algoritmo de Viterbi, que es un algoritmo óptimo porque explora todos los caminos del enrejado para encontrar una secuencia binaria, lo más cercana posible a la secuencia binaria recibida, la cual puede tener errores.

El codificador convolucional añade una estructura a la secuencia de bits. Incluso aunque la entrada sea totalmente aleatoria, se fuerza a que la salida siga unas determinadas secuencias. Esta restricción es la que da la capacidad correctora a los códigos convolucionales. El procedimiento de decodificación es equivalente a comparar la secuencia recibida con todas las posibles secuencias que pueden obtenerse con el correspondiente codificador y seleccionando la secuencia que está más próxima a la secuencia recibida.

Para realizar la decodificación se utiliza un algoritmo denominado Algoritmo de Viterbi. El fundamento de este algoritmo está en que no se almacenan todas las secuencias a las que da lugar el codificador. Se basa en el principio de optimizar el mejor camino (menor distancia de Hamming) a través del diagrama de enrejado que pasa por un determinado nodo, necesariamente incluye el mejor camino desde el principio del diagrama de enrejado hasta este nodo.

El principio anterior implica que para cada uno de los nodos del diagrama de enrejado sólo es necesario guardar el mejor camino (secuencia) hasta ese nodo. De esta forma, como mucho se tendrán tantos caminos como estados diferentes (el número de estados es  $2^{(m-1)k}$ ).

**Descripción del algoritmo de Viterbi:**

- Paso 1: en el nivel j, calcular la distancia de Hamming de cada camino entrante en cada nodo (estado) desde el nodo del nivel j-1 hasta el nodo del nivel j a través del camino superviviente.
- Paso 2: para cada nodo (estado) del diagrama de enrejado en el nivel j, descartar todos los caminos que entran en el nodo, excepto el de distancia mínima. Cuando a un nodo llegan dos caminos con la misma distancia se toma el superior.
- Paso 3: pasar al nivel j+1 y repetir los pasos 1 y 2.

A continuación mostraremos un ejemplo de aplicación de este algoritmo sobre una cadena codificada con el codificador (2,1,3) del ejemplo de codificación. El codificador envía la secuencia: 11 01 10 11 10 00 11 correspondiente a la codificación de la cadena 1 0 0 1 1 1 0. El receptor recibe la secuencia: 11 01 00 11 11 00 11. Vemos que se han producido dos errores (posiciones 5 y 10).

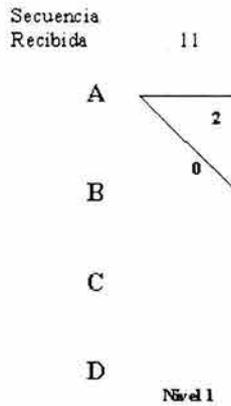


Fig. 2.5 Paso 1 Algoritmo de Viterbi

Paso 1  $d(11,00) = 2$  ,  $d(11,11) = 0$

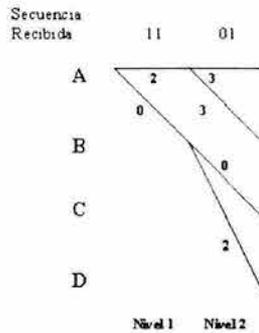


Fig. 2.6 Paso 2 Algoritmo de Viterbi

Paso 2  $2 + d(01,00) = 2 + 1 = 3$  ,  $0 + d(01,01) = 0 + 0 = 0$   
 $2 + d(01,11) = 2 + 1 = 3$  ,  $0 + d(01,10) = 0 + 2 = 2$

En este momento nos encontramos en el nivel 2. A partir de ahora comenzamos a aplicar el algoritmo. Vemos que a cada estado del nivel 2 llega un único camino, por lo tanto nos quedamos con todos los caminos hasta el momento.

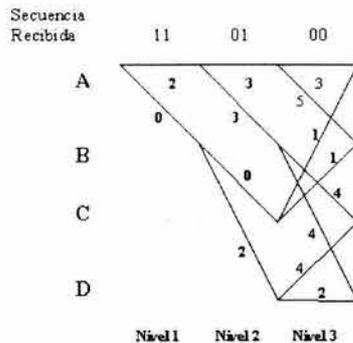


Fig. 2.7 Paso 3 Algoritmo de Viterbi

Paso 3  $3 + d(00,00) = 3 + 0 = 3$   
 $0 + d(00,10) = 0 + 1 = 1$   
 $3 + d(00,11) = 3 + 2 = 5$

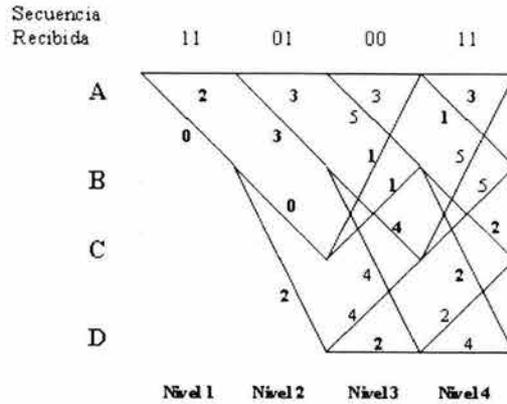


Fig. 2.8 Paso 3 Algoritmo de Viterbi

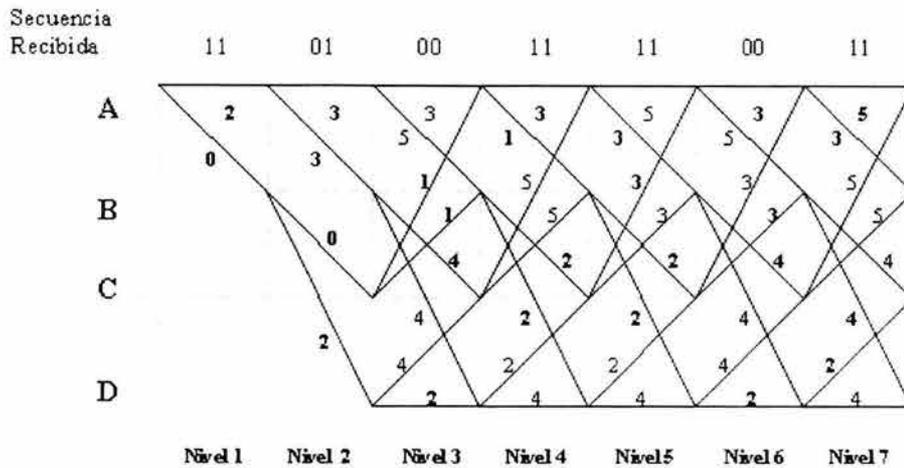


Fig. 2.9 Todas las Trayectorias

Una vez que hemos llegado al final, escogemos la trayectoria que nos da la distancia más corta en el último nivel. Una vez seleccionado el camino, elegimos el bit que provoca la transición de estado entre dos niveles comenzando desde el primer nivel hasta el último. La secuencia de bits obtenida es la cadena decodificada.

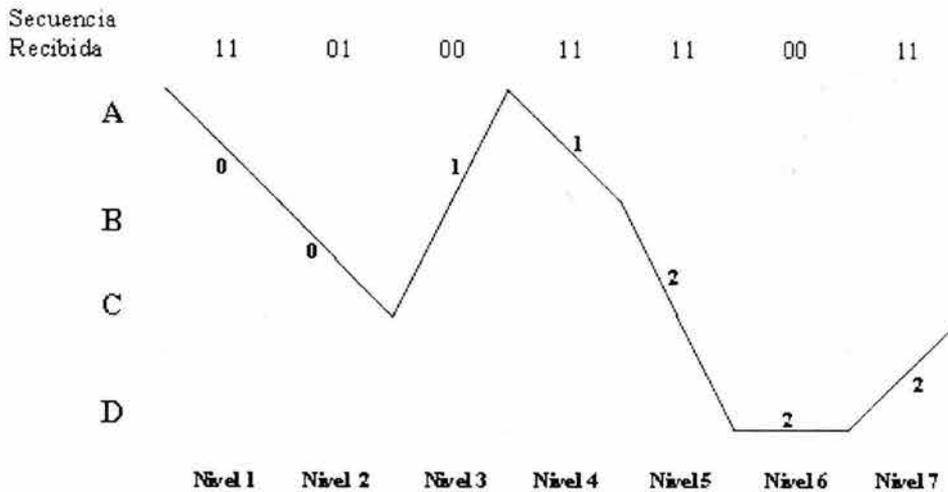


Fig. 2.10 Trayectoria con distancia mínima

Ahora seleccionamos en cada nivel el bit de entrada que provoca la transición de estados que se refleja según el camino obtenido, por lo tanto, la secuencia decodificada es 1 0 0 1 1 1 0. Vemos que coincide con la cadena codificada por el codificador y enviada al decodificador. El código utilizado ha sido capaz de detectar y corregir dos errores.

### 2.5 Características de los Principales Códigos

Códigos Hamming: Estos se han utilizado principalmente para la detección o la corrección de error en sistemas de las comunicaciones digitales y del almacenaje de datos.

Parámetros	
Longitud del código	$n = 2^m - 1$
Numero de bits en el mensaje	$k = 2^m - m - 1$
Numero de bits de redundancia	$m = n - k \geq 3$
Distancia mínima	$d=3$
Capacidad para la corrección de error	$t=1$

Tabla 2.2 Códigos Hamming

M	G(D)	M	G(D)
3	$1 + D + D^3$	9	$1 + D^4 + D^9$
4	$1 + D + D^4$	10	$1 + D^3 + D^{10}$
5	$1 + D^2 + D^5$	11	$1 + D^2 + D^{11}$
6	$1 + D + D^6$	12	$1 + D + D^4 + D^6 + D^{12}$
7	$1 + D^3 + D^7$	13	$1 + D + D^3 + D^4 + D^{13}$
8	$1 + D^2 + D^3 + D^4 + D^8$	14	$1 + D + D^6 + D^{10} + D^{14}$

Tabla 2.3 Polinomios Generadores Códigos Hamming

Códigos de control de redundancia cíclicas:

Algunos polinomios generadores para los códigos CRC se pueden encontrar en la siguiente tabla:

Códigos CRC	G(D)	Longitud de Palabra	Factor Primo
CRC-12	$1 + D + D^2 + D^3 + D^{11} + D^{12}$	6	1+D
CRC-16	$1 + D^2 + D^{15} + D^{16}$	8	1+D
CRC-CCITT	$1 + D^5 + D^{12} + D^{16}$	8	1+D

Tabla 2.4 Polinomios Generadores Códigos CRC

Códigos Bose, Chaudhuri, y Hocquenghem (BCH). Los códigos BCH son una generalización de los códigos de Hamming para la corrección de errores múltiples

Parámetros	
Longitud del código	$n = 2^m - 1$
Numero de bits en el mensaje	$k \geq n - mt$
Numero de bits de redundancia	$m \geq 3$
Distancia mínima	$D \geq 2t + 1$
Capacidad para la corrección de error	$t < 2^{m-1}$

Tabla 2.5 Parámetros BCH

N	K	T	G(D)
7	4	1	13
15	11	1	23
15	7	2	721
15	5	3	2467
31	26	1	45
31	21	2	3551
31	16	3	107657
31	11	5	5423325
31	6	7	313365047

Tabla 2.6 Polinomios Generadores Códigos BCH

Códigos Reed-Solomon. Los (RS) abarcan la subclase especial y más importante de los códigos de Q-arios BCH. El codificador para un código RS (n,k), código con m-bits símbolos agrupa la secuencia de datos binaria en bloque, cada bloque que contiene k símbolos de (km bits)

Parámetros	
Longitud del código	$n = q - 1 = 2^m - 1$
Numero de bits en el mensaje	K
Numero de bits de redundancia	$n - k = 2t$
Distancia mínima	$d = 2t + 1$

Tabla 2.7 Parámetros Códigos RS

### 3. Técnicas de Modulación y Multiplexación

#### 3.1 Modulación Digital

Las señales de información deben ser transportadas entre un transmisor y un receptor sobre alguna forma de medio de transmisión, sin embargo, las señales de información pocas veces se encuentran en forma adecuada para la transmisión. La modulación se define como el proceso de transformar la información de su forma original a una forma más adecuada para la transmisión. La demodulación se define como el proceso inverso, la onda modulada se convierte a su formato original.

Entonces la modulación digital puede ser definida como el proceso en donde la amplitud, frecuencia o fase de una portadora de RF, o una combinación de ellas es variada de acuerdo con la información a ser transmitida.

La modulación digital puede proporcionar otros beneficios importantes en transmisión de señales. Si más de una señal utiliza el mismo canal, la modulación puede ser utilizada para separar las diferentes señales, es decir, pueden ser multiplexadas. En éste sentido, la modulación se usa para minimizar las interferencias de otras señales.

#### 3.2 Técnicas de Modulación Digital

En esencia hay tres técnicas de modulación digital que se suelen utilizar: modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK, Frequency Shift Keying), modulación por desplazamiento de fase (PSK, Phase Shift Keying) y modulación por desplazamiento de amplitud (ASK, Amplitude Shift Keying).

Cuando el receptor explota el conocimiento de la fase de la portadora para detectar las señales, al proceso se le conoce como detección coherente; cuando el receptor no utiliza tal información de referencia de fase, el proceso es llamado detección no coherente. En comunicaciones digitales, los términos demodulación y detección son usados en forma intercambiable, no obstante que la demodulación enfatiza en la eliminación de la portadora, y la detección involucra el proceso de decisión. En la detección coherente ideal, en el receptor esta disponible el prototipo de cada señal que llega. Estas formas de onda prototipo intentan duplicar el conjunto de señales transmitidas en cualquier aspecto. Durante la detección, el receptor multiplica e integra (correlaciona) la señal de llegada con cada una de sus réplicas prototipo.

La detección no coherente se refiere a los sistemas que emplean demoduladores que están diseñados para operar sin el conocimiento del valor absoluto de la fase de la señal que llega; por lo tanto, no se requiere la estimación de fase. Entonces la ventaja de los sistemas no coherentes sobre los coherentes es la reducción en complejidad, y el precio pagado es el incremento en la probabilidad de error ( $P_e$ ).

##### 3.2.1 Modulación por Desplazamiento de Frecuencia FSK (Frequency Shift Keying)

En un sistema FSK, los símbolos se distinguen uno del otro transmitiendo distintas señales senoidales que difieren en frecuencia por una cantidad fija. La expresión analítica general para la modulación digital FSK es:

$$S_i(t) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_i t + \varphi), & \dots, 0 \leq t \leq T_B \end{cases}$$

donde  $i=1, 2 \dots M$  y  $E_b$  es la energía por bit de la señal transmitida. La forma de onda muestra cambios de frecuencia abruptos en cada transición entre símbolo. Como podemos observar estas señales son ortogonales.

Si  $M=2$ , tendremos:

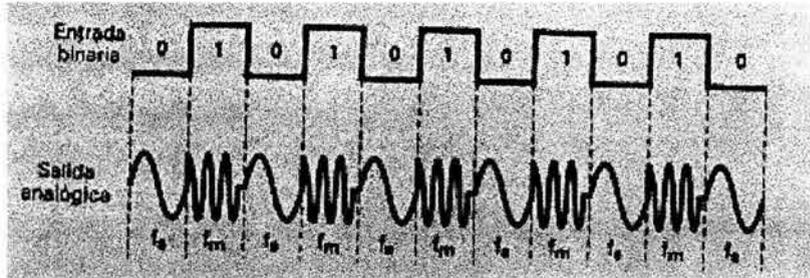


Fig. 3.2 FSK Binario

Si  $M=3$  tenemos

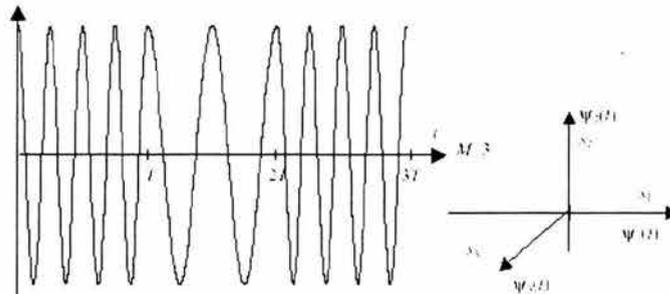


Fig. 3.2 Modulación Digital FSK

### 3.2.2 Transmisión de Desplazamiento Mínimo del FSK (MSK). Minimum Shift Keying

En esencia MSK es lo mismo que FSK, excepto que las distintas frecuencias que puede tomar están sincronizadas, con la tasa de bit de entrada. En MSK las frecuencias están seleccionadas, de tal forma que están separadas exactamente un múltiplo impar de la razón de la tasa de bit. Esto asegura que haya una transición de fase fluida, en la señal de salida, cuando cambia de una frecuencia a otra.

La siguiente figura muestra una forma de onda FSK no continua, pueden verse cambios abruptos, cuando esto ocurre el demodulador tiene problemas para seguir.

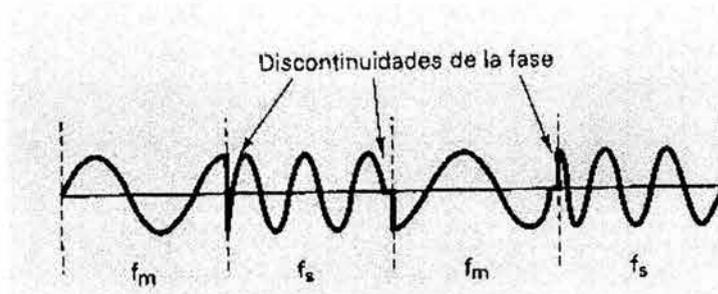


Fig. 3.3 Forma de onda FSK no continua

La siguiente figura muestra una onda MSK de fase continua, aquí cuando la frecuencia cambia la transición es continua y fluida. En consecuencia no hay discontinuidades en la fase, esto asegura un mejor rendimiento en cuanto a errores.

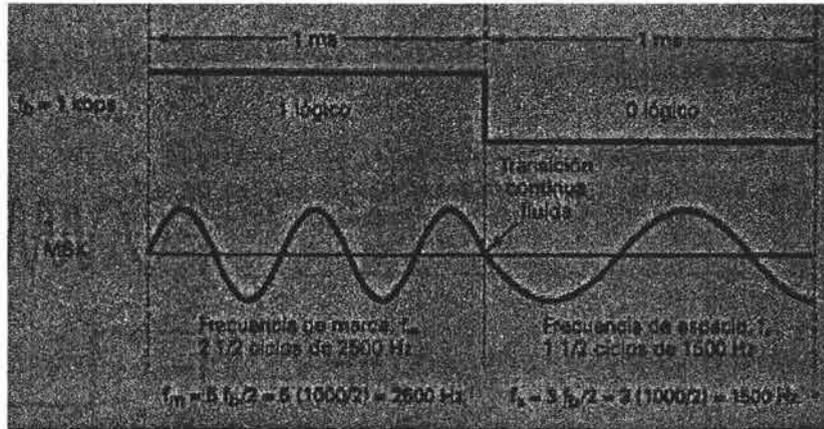


Fig. 3.4 Forma de onda MSK de fase continua

### 3.2.3 Modulación por Desplazamiento de Amplitud (ASK) Amplitude Shift Keying

La expresión general para la modulación digital en amplitud es

$$S_i(t) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2E_i}{T_b}} \cos(2\pi ft + \varphi), & \dots, 0 \leq t \leq T_b \end{cases}$$

En donde  $E_i(t)$  representa la amplitud variante en el tiempo,  $F$  la frecuencia constante de la portadora y  $\varphi$  la constante arbitraria de fase.

Si  $M=1$ , la amplitud se alterna entre dos niveles de voltaje.

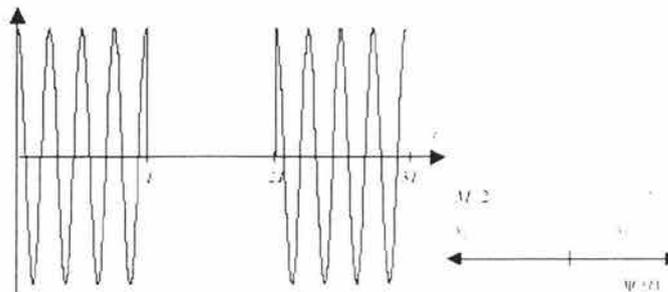


Fig.3.5 Modulación ASK

### 3.2.4 Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK) Phase Shift Keying

La expresión analítica general para PSK es

$$S_i(t) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi ft + \varphi_i), & 0 \leq t \leq T_b \\ 0, & \text{...} \end{cases}$$

En donde el término de la fase contiene M valores discretos dados por:

$$\varphi_i = \frac{2(i-1)\pi}{M}$$

donde  $i=1, 2, \dots, M$  y  $E_b$  es la energía por bit de la señal transmitida.  $T_b$  es la duración temporal del símbolo. En la modulación BPSK, la señal de datos.

Si  $M=2$  tenemos BPSK

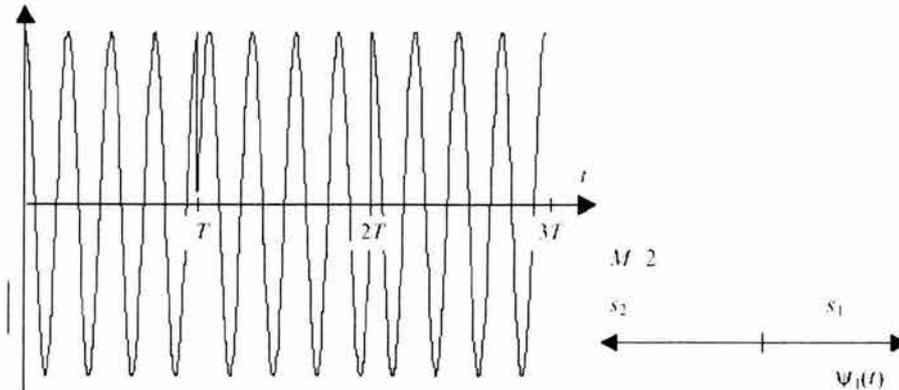


Fig. 3.6 Modulación BPSK

### 3.2.5 Transmisión por Desplazamiento de Fase Cuaternaria (QPSK) Quaternary Phase Shift Keying (QPSK)

QPSK es una técnica de codificación M-ario, donde  $M=4$ . Con QPSK son posibles 4 fases de salida, para una sola frecuencia de la portadora. Por tanto, para cada bit introducido al modulador, ocurre un solo cambio de salida. Así que la razón de cambio en la salida, es la mitad de la razón de bit a la entrada.

En la siguiente figura se muestra un diagrama a bloques de un modulador QPSK. Después de que se han introducido 2 bits, en forma serial, salen simultáneamente en forma paralela. Un bit se dirige al canal I y otro al canal Q. El bit I modula una portadora que está en fase con el oscilador de referencia (canal en fase), y el bit Q modula una portadora que está  $90^\circ$  fuera de fase o en cuadratura con la portadora de referencia (canal en cuadratura).

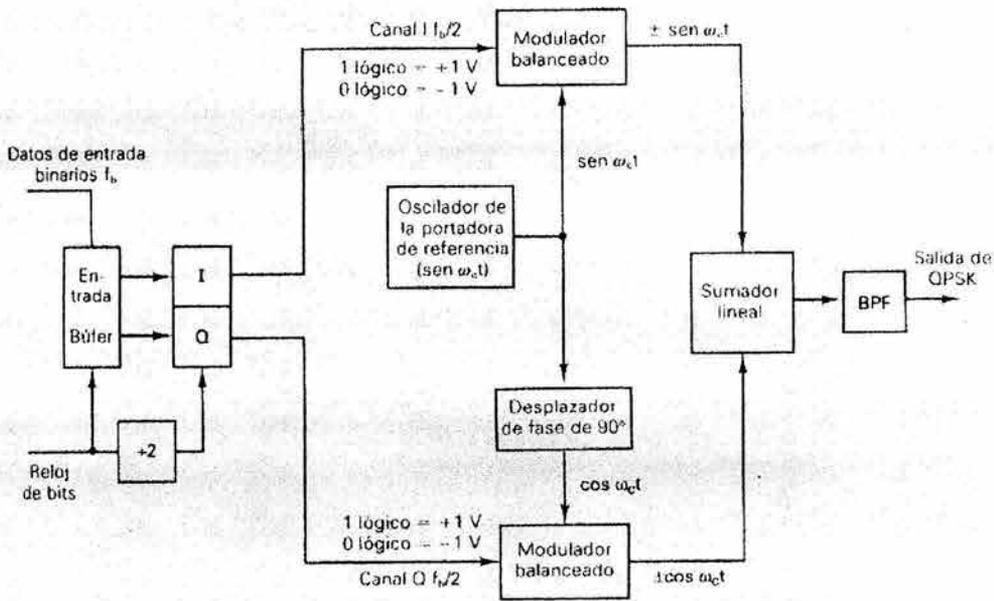


Fig.3.7 Modulador QPSK

**QPSK de compensación (Offset)**

QPSK de compensación (OQPSK), es una forma modificada de QPSK en donde las formas de ondas de los bits en los canales I y Q se compensan o se cambian en fase, entre sí, por la mitad del tiempo de bit. En este tipo de modulación nunca hay mas de un cambio de 90° en fase de salida.

**3.2.6 Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM)  
Quadrature Amplitude Modulation**

La modulación de amplitud en cuadratura (QAM), es una forma de modulación digital en donde la información digital esta contenida, tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida.

El QAM de ocho 8-QAM, es una técnica de codificación M-ario, donde M=8. Así como sobre el 8-PSK, Los datos que están entrando se dividen en grupos de 3 bits: los flujos de bits I, Q y C cada uno con una tasa de bits igual a un tercio de la tasa que esta entrando. I y Q determinan la polaridad de la señal PAM y el canal C determina la magnitud.

La Fig. 3.8 muestra la relación fase de salida contra tiempo para un modulador 8-QAM, se observa que hay dos posibles amplitudes y son posibles cuatro fases.

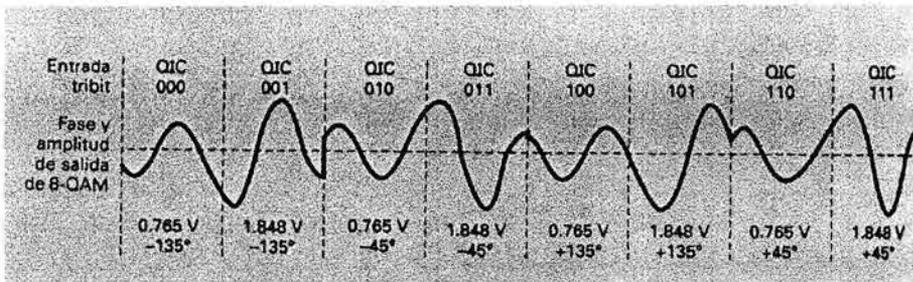


Fig.3.8-QAM

Entrada Binaria		Amplitud	Fase	
Q	I	C		
0	0	0	0.765v	-135°
0	0	1	1.848v	-135°
0	1	0	0.765v	-45°
0	1	1	1.848v	-45°
1	0	0	0.765v	135°
1	0	1	1.848v	135°
1	1	0	0.765v	-45°
1	1	1	1.848v	-45°

Tabla 3.1 8-QAM



Fig. 3.9 8-PSK

Entrada Binaria			Fase
Q	I	C	
0	0	0	-112.5°
0	0	1	-157.5°
0	1	0	-67.5°
0	1	1	-22.5°
1	0	0	112.5°
1	0	1	157.5°
1	1	0	67.5°
1	1	1	22.5°

Tabla 3.2 8-PSK

### 3.2.7 Transmisión por Desplazamiento de Fase Diferencial DPSK

La transmisión por desplazamiento de fase diferencia (DPSK), es una forma alterna de modulación digital en donde la información de entrada binaria está contenida en la diferencia, entre dos elementos sucesivos de la señalización, en lugar de la fase absoluta. Con DPSK no es necesario recuperar una portadora coherente en fase. En lugar de eso, se retarda un elemento de señalización por una ranura de tiempo y luego se compara al siguiente elemento recibido de señalización. La diferencia, en fase, de los dos elementos de señalización determina la condición lógica de los datos.

La ventaja principal del DPSK es la simplicidad con la que se puede implantar. Con DPSK, no se necesita circuito de recuperación de portadora. Una desventaja del DPSK es que requiere entre 1 y 3 [dB] más de relación señal a ruido para alcanzar las mismas tasas de errores de bits que el PSK absoluto.

Rendimiento de varios esquemas para modulación digital BER=		
Técnica de Modulación	Relación C/N [dB]	Relación $E_b / N_0$ [dB]
BPSK	10.6	10.6
QPSK	13.6	10.6
4-QAM	13.6	10.6
8-QAM	17.6	10.6
8-PSK	18.5	14
16-PSK	24.3	18.3
16-QAM	20.5	14.5
32-QAM	24.4	17.4
64-QAM	26.6	18.8

Tabla 3.3 Rendimiento de Varios Esquemas para Modulación Digital

Modulación	Codificación	Ancho de Banda [Hz]	Baudio	Eficiencia del Ancho de Banda [bps/Hz]
FSK	Bit sencillo	$\geq F_b$	$F_b$	$\geq 1$
BPSK	Bit sencillo	$F_b$	$F_b$	1
QPSK	Dibit	$F_b / 2$	$F_b / 2$	2
8-PSK	Tribit	$F_b / 3$	$F_b / 3$	3
8-QAM	Tribit	$F_b / 3$	$F_b / 3$	3
16-PSK	Quadbit	$F_b / 4$	$F_b / 4$	4
16-QAM	Quadbit	$F_b / 4$	$F_b / 4$	4

Tabla 3.4 Comparación Entre las Diferentes Modulaciones

### 3. 3 Multiplexación

Es la transmisión de información, de más de una fuente a más de un destino, por el mismo medio de transmisión. Mediante este proceso es posible combinar varias señales independientes en una señal compuesta adecuada para la transmisión por un canal común. Hay varias formas en que se puede lograr este proceso, aunque los más comunes son Multiplexación por división de frecuencia FDM y Multiplexación por división de tiempo TDM

#### 3.3.1 Multiplexado por división de tiempo (TDM)

Con TDM, las transmisiones para fuentes múltiples ocurren sobre el mismo medio pero no al mismo tiempo. Las transmisiones de varias fuentes se intercalan en el dominio del tiempo.

El concepto de TDM se ilustra por medio del diagrama de bloques de la siguiente figura. Cada señal de mensaje de entrada se restringe primero a un ancho de banda a partir de un filtro antitraslape pasobajas para eliminar las frecuencias no esenciales para la representación de la señal. La salida del filtro se aplica luego a un conmutador. La función del conmutador es doble: 1) Tomar una muestra angosta de cada uno de los N mensajes de entrada a una frecuencia  $f_s$  que es un poco mayor que  $2W$ , donde  $W$  es la frecuencia de corte del filtro antitraslape y 2) intercalar en forma secuencial estas N muestras dentro del intervalo de muestreo  $T_s$ . En realidad esta última función es la esencia de la operación de multiplexado por división de tiempo. Luego del proceso de conmutación, la señal multiplexada se aplica a un modulador por pulsos, cuyo propósito es transformar la señal multiplexada en una forma adecuada para transmitirse por el canal de

comunicación. Resulta claro que este multiplexado introduce un factor de expansión del ancho de banda.

### 3.3.2 Multiplexado por división de Frecuencia (FDM)

En FDM, múltiples fuentes que originalmente ocupaban el mismo espectro de frecuencia se convierten, cada una a bandas de frecuencia diferentes y se transmiten simultáneamente en un solo medio.

En la Fig. 3.10 se presenta un diagrama de bloques de un sistema FDM. Se supone que las señales de entrada pasobajas pasan por un filtro, el cual elimina las componentes que no contribuyen, a la representación de la señal. Las señales filtradas se aplican en moduladores que corren los intervalos de frecuencia de las señales hasta ocupar intervalos de frecuencia exclusivamente mutuos. Las frecuencias de portadora necesarias para efectuar estas translaciones de frecuencia se obtienen de un suministro de portadoras. Los filtros pasobanda que siguen a los moduladores se utilizan para restringir la banda de cada onda modulada en su intervalo preestablecido. Las salidas que resultan del filtro pasobanda se combinan luego en paralelo para formar la entrada al canal común. En la terminal de recepción se utiliza un banco de filtros pasobanda, con sus entradas conectadas en paralelo, para separar las señales de información en un esquema de ocupación de frecuencia. Por último las señales de mensaje originales se recuperan por medio de demoduladores individuales.

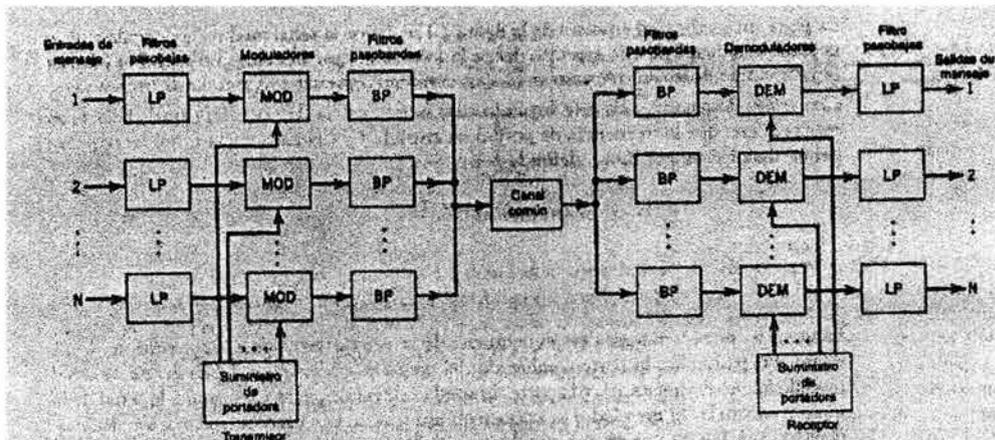


Fig. 3.10 Diagrama de Bloques FDM

### 3.3.3 Modulación Multicanal

La transmisión de datos por un canal se transforma mediante el uso de técnicas avanzadas de procesamiento de señales en la transmisión en paralelo del flujo de datos dados por un numero mayor de subcanales, de tal manera que cada subcanal pueda considerarse como un canal AWGN. Naturalmente, la velocidad de los datos total es la suma de las velocidades de los datos individuales sobre los subcanales que operan en paralelo. De este modo en términos prácticos del procesamiento de señales, la necesidad de la ecualización complicada de un canal de banda ancha se reemplaza por la necesidad de multiplexar y demultiplexar la transmisión del flujo de datos entrante por un gran numero de subcanales de banda angosta que son contiguos.

## 4. COFDM. (Coded Orthogonal frequency Division Multiplex)

### 4.1 Funcionamiento General

COFDM involucra la modulación de datos sobre un largo número de portadoras utilizando la técnica FDM. Esta modulación es un sistema de transmisión en paralelo, es decir, varios datos son transmitidos en el mismo instante de tiempo por múltiples portadoras, las cuales se eligen de forma que sean ortogonales entre sí.

Las características claves en las cuales se basa esta técnica son:

- La ortogonalidad .
- El aumento del intervalo de guarda;
- La codificación de errores, intercalado y del estado del canal.

El uso de portadoras múltiples se debe a la presencia de niveles significativos de propagación multitrayectoria. Pues, si se requiere enfrenta cualquier nivel apreciable de señales retardadas, la tasa de símbolo debe ser reducida lo suficiente así que el retardo total (entre la primera y la última trayectoria recibida) sea sólo una fracción modesta del periodo del símbolo. La información que puede ser portada por una portadora única es así limitada por la presencia de los efectos de propagación multitrayectoria. Si una portadora no puede entonces tener una alta tasa de información, esto nos permite naturalmente dividir los datos de una tasa alta dentro de muchas portadoras de tasas más pequeña.

El uso de un número muy grande de portadoras es una solución que nos llevaría a pensar en algunas dificultades ya que seguramente necesitaríamos muchos moduladores/demoduladores y filtros que acompañen estos procesos además de un considerable incremento en el ancho de banda. Pero estas preocupaciones pueden ser afortunadamente disipadas si nosotros hacemos una cosa simple: especificar que las portadoras estén uniformemente espaciadas por precisamente:  $f_u = 1/T_u$  donde  $T_u$  es el periodo (periodo del símbolo útil o activo) sobre el cual el receptor integra la señal demodulada. Cuando nosotros hacemos esto, las portadoras integran un conjunto ortogonal:

La portadora k (en banda base) puede ser escrita como:

$$\varphi_k(t) = e^{jk\omega_u t}$$

Donde, y la condición de ortogonalidad que las portadoras satisfacen es:

$$\int_{\tau}^{\tau+T_u} \varphi_k(t) \varphi_l^*(t) dt = 0, k \neq l$$

$$\int_{\tau}^{\tau+T_u} \varphi_k(t) \varphi_k^*(t) dt = T_u, k=1, 2, \dots$$

Por lo tanto, fuera de cualquier filtrado "explícito" nosotros podemos demodular todas las portadoras fuera de cualquier interferencia mutua. Además, no desperdiciamos el espectro tampoco. Las portadoras están apretadas unas contra otras así que ellas ocupan el mismo espectro en total como una sola portadora.

La COFDM usa una relación precisa matemática que divide la señal de radio a lo largo de múltiples portadoras ortogonales para la modulación, en el ancho de banda atribuido. Por consiguiente, todas las portadoras se modulan con una pequeña fracción de los datos totales dando lugar a un periodo de símbolos muy grande. Las portadoras son ortogonales entre sí de manera que no se produce nominalmente interferencia mutua.

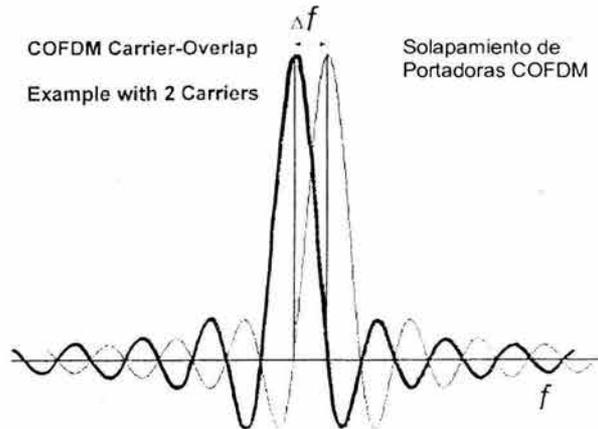


Fig. 4.1 Portadoras Ortogonales

El principio de ortogonalidad define la separación entre portadoras de manera que sea exactamente igual al recíproco del periodo de símbolo útil. Durante este periodo de símbolo el canal deberá de ser estable, por lo tanto, la estabilidad del canal afecta tanto al espaciado entre portadoras como la cadencia de transmisión de datos. La ortogonalidad de las portadoras puede ser mantenida siempre y cuando el canal no introduzca interferencia entre símbolos (ISI). En la práctica los canales siempre introducen ISI y para prevenirla se utiliza en esta modulación el concepto de intervalo de guarda, el cual asegura que toda la información integrada viene del mismo símbolo y aparece constante durante este.

Fundamentalmente estas modulaciones pueden verse como si tuviéramos una secuencia de símbolos que queremos transmitir; estos símbolos se ven como puntos en frecuencia de una señal. Por esto se agrupan de  $N$  en  $N$  (a cada grupo de  $N$  símbolos se les llama supersímbolo) y se hace un FFT inversa. El número de portadoras que vamos a tener corresponde con el número de puntos que van a ser procesados en el algoritmo de la IFFT. En recepción bastará aplicar la FFT a las muestras recibidas para recuperar la secuencia de datos transmitida. Esta técnica trabaja con diferentes modos de transmisión. Sin embargo, la información útil transmitida por segundo es igual en los distintos modos, dado que en uno se transmite más rápido pero menos información cada vez y con igual ancho de banda.

Hay diferencias entre el uso de un modo u otro, ya que en el modo con menor número de portadoras existe una mayor separación entre ellas lo que disminuye los efectos de las interferencias

#### 4.2 Protección Contra Desvanecimientos.

Un desvanecimiento es una distorsión provocada por las variaciones de las características físicas del canal que tiene como resultado una disminución de la potencia recibida. Las mayores distorsiones son provocadas por los desvanecimientos profundos que son selectivos en frecuencia, afectando de manera distinta a las diferentes componentes frecuenciales de la señal enviada. De esta manera, algunas frecuencias se verán muy atenuadas mientras que otras pueden tener una ganancia en potencia.

Lo visto hasta ahora sobre la modulación (llamada OFDM) no proporciona ninguna protección contra estos desvanecimientos. Como solución se dota a la modulación de un codificador de canal compuesto de dos elementos: un código convolucional y el intercalado (conocida como Coded-OFDM).

El modelado del canal con propagación multitrayectoria, asume que la señal recibida es la suma de señales retardadas y esparcidas. El esparcimiento de la señal (debido a árboles, otros vehículos, etc.) se puede modelar por factores que multiplican a la señal original y retardada, estos factores obedecen a una distribución de Raleigh con una función de probabilidad determinada. Bajo este contexto de canal, los problemas que se presentan se pueden resumir en dos aspectos:

- Respuesta al impulso del canal: debido a su esparcimiento causa interferencia intersimbólica a medida que la tasa de bits aumenta.
- Características dinámicas del canal, como resultado del entorno cambiante que rodea a un vehículo en movimiento. Lo anterior causará degradación en la estimación de la fase del receptor.

Tomando en cuenta el modelo anterior, es posible representar los efectos de la transmisión, combinando la respuesta en frecuencia del canal y la variación del tiempo. Considerar cuándo el canal es invariante y cuándo es estadísticamente independiente, constituye la base de la modulación y codificación del canal de este sistema llamada modulación COFDM.

La intención pretendida al introducir un código convolucional es añadir cierta redundancia en los datos que se desean transmitir, redundancia que en recepción será empleada en la corrección de errores. Esa corrección de errores tiene ciertas limitaciones pues si a la entrada del decodificador apareciese una secuencia larga de errores, este elemento no sería capaz de decodificar de una manera correcta. Para acortar la longitud de estas ráfagas de errores, y que sean abordables por el código convolucional, se añade el intercalado.

El intercalado trata de introducir un cierto desorden de manera que las portadoras adyacentes no sean moduladas por datos consecutivos. Si se produce una pérdida de información llevada por las portadoras adyacentes, al deshacer el desorden, el error debido a cada portadora queda aislado, acortándose la longitud de la ráfaga. Se puede decir que el efecto conjunto del código convolucional y el intercalado puede verse como un promedio de los desvanecimientos locales sobre todo el espectro de la señal.

#### **4.3 Redes de Frecuencia Única.**

En un principio se podría pensar que la propagación multitrayectoria es debido a causas exclusivamente naturales, pero el hecho de tener herramientas para contrarrestar sus efectos, puede inducir a pensar que de manera artificial se introduzca algún efecto controlado como consecuencia del empleo de redes de frecuencia única.

El espectro para radiodifusión está muy saturado. Además, para la radiodifusión de una misma señal por parte de dos transmisores geográficamente adyacentes, se tiene que usar dos canales distintos, precisamente por culpa del efecto multitrayectoria. Usando la modulación COFDM se podría tener una red de transmisores que operen todos en la misma frecuencia, una red de frecuencia única (SFN).

COFDM se apoya en el intervalo de guarda para contrarrestar los efectos de la propagación multitrayectoria, sea natural o artificial. Aparte del mejor aprovechamiento del espectro, otra ventaja de las redes de frecuencia única es que debido a la adición de señales provenientes de dos transmisores cercanos pertenecientes a la red, se produce una ganancia que se denomina ganancia de red. Esta ganancia trae consigo múltiples ventajas: la infraestructura para la radiodifusión es más barata, ya que se necesita menos potencia en los transmisores; hacen un mejor uso de la potencia transmitida y logra una mejor cobertura. Un inconveniente es que la división de la red no es posible; es decir, en caso de querer radiodifusión regional sería necesaria la creación de una red por su ámbito de radiodifusión.

#### 4.4 Bloques del transmisor para COFDM

En la Fig. 4.2 se puede ver cada uno de los elementos que conforman la cadena emisora y su disposición.

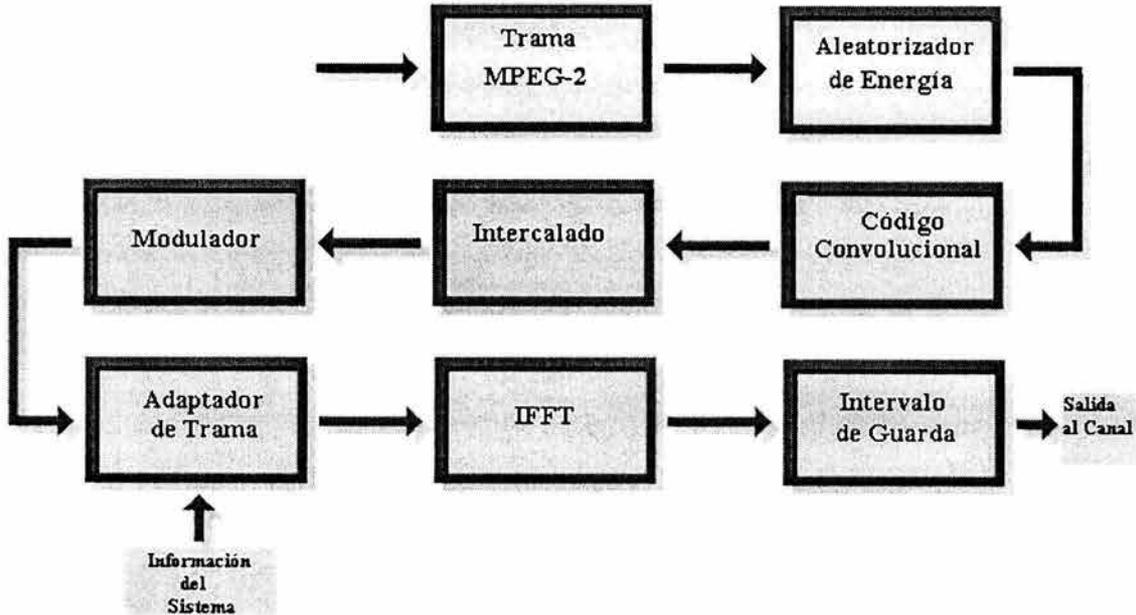


Fig. 4.2 Diagrama de transmisión

#### Aleatorizador de Energía

El objetivo de este bloque consiste en evitar que en un conjunto de bits haya ciertas secuencias que se repitan con mayor asiduidad, ya que esto provocaría la aparición de ciertos puntos de la constelación con mayor frecuencia. Si estos puntos coincidiesen en necesitar mayor energía para su transmisión se tendría un gran desperdicio de potencia. En definitiva, el objetivo consiste en obtener una cierta uniformidad en la transmisión de los símbolos de la constelación.

Para conseguir esto se utiliza una secuencia binaria pseudoaleatoria que se obtiene a partir del polinomio generador  $1 + X^{14} + X^{15}$  y una secuencia binaria inicial. En la siguiente figura se puede observar el esquema hardware para la obtención de la secuencia pseudoaleatoria.

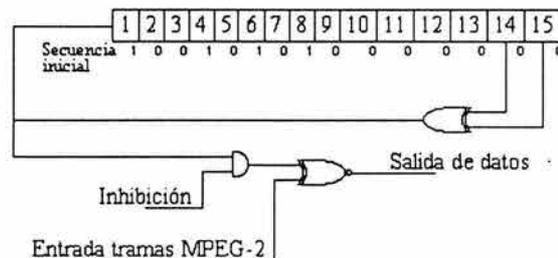


Tabla 4.3 Obtención de Secuencia Pseudoaleatoria

#### Código Convolutivo

Primer bloque que forma parte del codificador de canal. La función que va a desarrollar va a ser la codificación de los bits que se presentan a la entrada mediante la introducción de bits de redundancia que habilitarán la corrección de errores en recepción. El código convolutivo base está formado por seis registros de memoria y dos bits de salida por cada bit de entrada.

Los polinomios que generan el código son:

$$g_1(D) = 1 + D + D^2 + D^3 + D^6$$

$$g_2(D) = 1 + D^2 + D^3 + D^5 + D^6$$

D indica un retardo unidad.

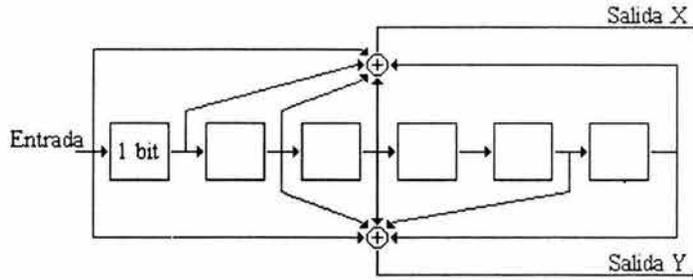


Fig. 4.7 Funcionamiento del código convolucional

Como se indicó anteriormente, el estándar contempla diversas tasas para el codificador convolucional. La tasa 1/2 viene aportada por el propio código base, mientras que las restantes tasas se consiguen a partir de las técnicas de perforado.

Para optimizar este proceso y así poder entregar un BER aceptable y una baja SNR. Se utiliza la codificación convolucional conjuntamente con un decodificador de decisiones suaves. Cuando los datos se modulan sobre una sola portadora, todos los datos del símbolo sufren de la misma energía de ruido en promedio; la información de una decisión suave necesita simplemente tomar la nota de las variaciones al azar del símbolo por símbolo que este ruido causa. Cuando los datos se modulan sobre las portadoras múltiples, las medidas llegan a ser levemente más complicadas pues las distintas portadoras tendrán diversos cocientes SNR. Por ejemplo, una portadora que cae en una muesca en la respuesta de frecuencia abarcará sobre todo ruido; una en un pico sufrirá mucho menos. Así, además de las variaciones del símbolo por símbolo, hay otro factor a tomar cuenta en las decisiones suaves: los datos transportados por las portadoras que tienen un SNR alto son primordialmente más confiables que los transportados por las portadoras que un bajo de SNR.

Esta información se conoce generalmente como información de estado del canal. Este concepto se puede ampliar para combatir la interferencia que afecte las portadoras selectivamente. La inclusión de la información de estado del canal en la generación de decisiones suaves es la llave al funcionamiento único de COFDM en la presencia de desvanecimiento y de interferencia.

### Intercalado

Este bloque limita en lo posible la longitud de las ráfagas de errores que se puedan producir durante la transmisión para que estas no desborden la longitud máxima soportada por el código corrector. Se implantan dos bloques, uno que trabaja a nivel de bits y otro que trabaja a nivel de grupos de bits (símbolos). El barajador de bits consigue que los grupos de bits que dan lugar a un símbolo no estén formados por bits consecutivos de la entrada. Esto se consigue barajando los bits siguiendo un patrón fijo que se basa en una rotación cíclica.

El intercalado de símbolo agrupa los bits de 4 en 4 (QPSK o 16-QAM) o de 6 en 6 (64-QAM) cogiendo uno de cada rama. Es el encargado de desordenar los símbolos. Es el primer bloque afectado por el modo de transmisión. Por lo tanto se está consiguiendo separar portadoras que estén correlacionadas entre sí de forma que ante un desvanecimiento profundo la posibilidad de que símbolos contiguos se vean afectados sea pequeña.

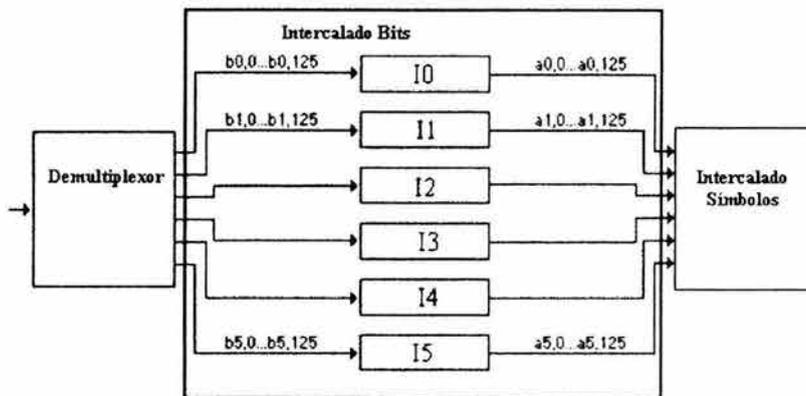


Fig. 4.4 Técnica de Intercalado

**Modulador**

Se encarga de hacer la conversión de grupos de bits a símbolos. Las constelaciones pueden ser las siguientes: QPSK, 16-QAM y 64-QAM. Todas estas constelaciones tienen en común que la asignación binaria de los elementos se corresponde a un código Gray. Los símbolos de la constelación deben de ser multiplicados por unos valores para conseguir que estén normalizados en energía.

**Adaptador de Trama**

Es necesario enviar alguna información adicional para que el receptor pueda realizar una correcta decodificación de los datos. La información adicional que va a ser transmitida son señales de información del sistema, que se utilizarán para indicar en el receptor cuales son los parámetros empleados en transmisión, como puede ser el modo usado, el valor del intervalo de guarda.

**IFFT**

Una vez que se tienen todos los datos distribuidos en frecuencia, el siguiente paso es la aplicación de la IFFT con lo cual, a partir de este punto, se trabaja en el dominio del tiempo. Para que sea eficiente el algoritmo, el número de puntos con los que debe trabajar tiene que ser potencia de dos.

**Intervalo de guarda**

La modulación COFDM emplea una técnica que consiste en habilitar un cierto intervalo temporal que se añade al intervalo de tiempo necesario para la transmisión de un supersímbolo. Con esto se evita que unos símbolos se vean afectados por otros (interferencia intersímbolo), aunque un símbolo siempre puede ser afectado por una versión retardada de sí mismo (interferencia intrasímbolo).

El símbolo K de la señal directa se ve afectado por la versión retardada de sí mismo. Ahora bien, si la duración del intervalo de guarda ( $\Delta$ ) está bien dimensionada, el símbolo K de la señal directa no se ve afectado por el símbolo K-1 de la señal retardada, cosa que sí ocurriría en caso de no existir el intervalo de guarda.

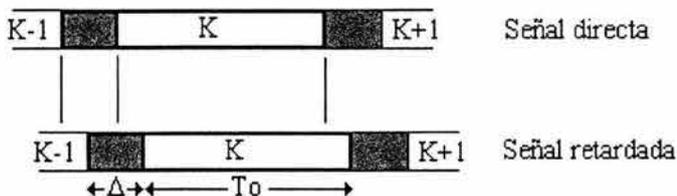


Fig. 4.5 Intervalo de Guarda

La realización de este bloque se lleva a cabo mediante una extensión cíclica de la salida de la IFFT. Esto nos lleva a que la duración total del periodo de símbolo será  $T_{\text{símbolo}} = T_0 + \Delta$ . Esta extensión cíclica no es más que la copia de un determinado número de las últimas muestras de salida de la IFFT, y la colocación al principio a modo de prefijo, como se muestra en la figura de abajo.

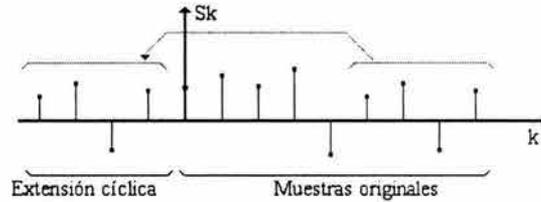


Fig. 4.6 Extensión cíclica

La desventaja de la introducción del intervalo de guarda estriba en una reducción de la eficiencia espectral, ya que hay que transmitir muestras duplicadas que no aportan nueva información. Esta técnica considera diferentes valores para la duración del intervalo de guarda. El envío de un mayor número de muestras en el intervalo de guarda tiene repercusión directa en las tasas de bits que se logran transmitir.

#### 4.5 Bloques del Receptor para COFDM

A continuación se presenta un esquema donde se puede ver la disposición de los distintos bloques que componen la cadena receptora de un receptor COFDM:

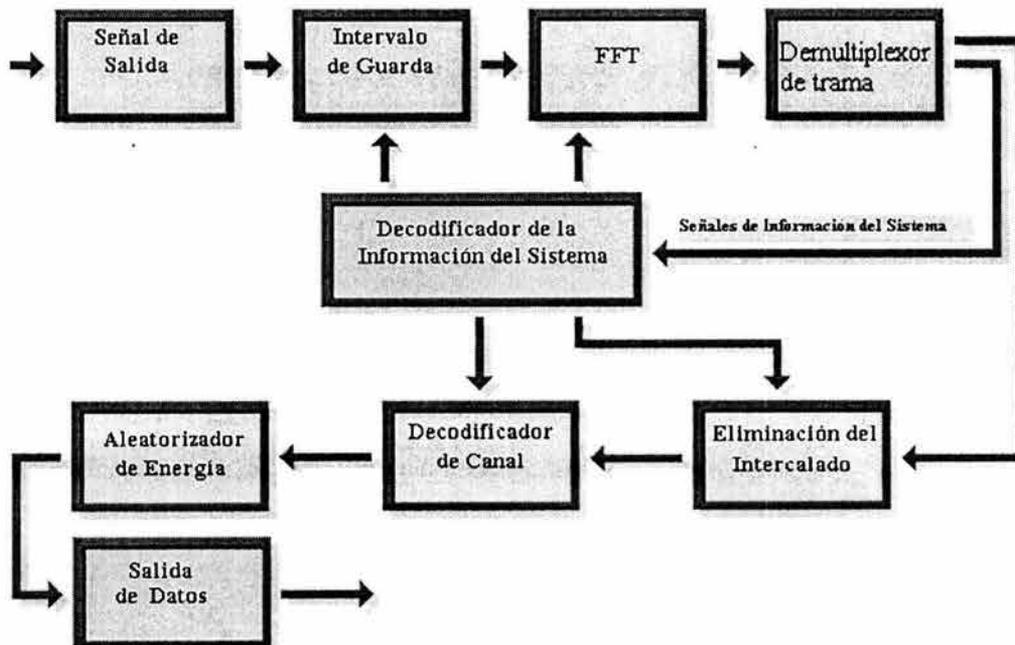


Fig.4.7 Receptor COFDM

#### Intervalo de Guarda

Este primer bloque del receptor tiene como misión la eliminación del intervalo de guarda en transmisión que consiste en no tener en consideración las  $M$  primeras muestras de cada periodo

de símbolo. Una vez eliminado el intervalo de guarda, las muestras restantes llevan toda la información necesaria para una correcta demodulación.

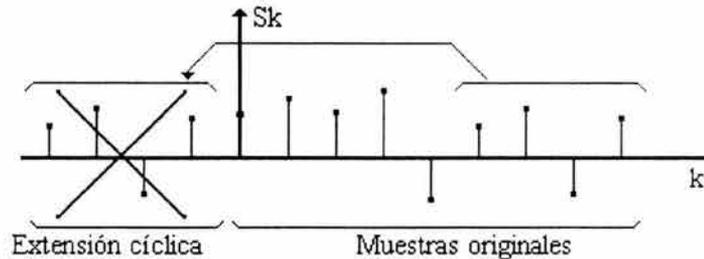


Fig. 4.8 Eliminación del Intervalo de Guarda

**FFT**

Aquí se obtiene la información adecuada que espera el siguiente elemento de la cadena receptora. Después de realizar la FFT es necesaria una ordenación frecuencial para eliminar los puntos correspondientes a las altas frecuencias y que no llevan información ya que valen cero

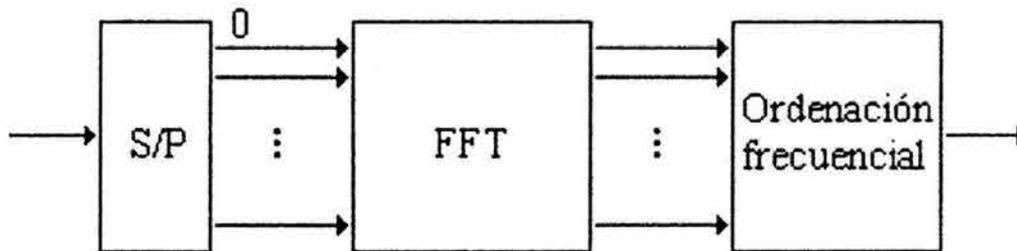


Fig. 4.9 FFT

**Demultiplexor de Trama**

En un supersímbolo OFDM no sólo se transmiten datos, sino que ciertas portadoras son moduladas con otro tipo de señales que sirven para facilitar el trabajo del receptor. Estas otras señales son:

Las señales de información del sistema, que son de posición fija, llevan parámetros que son necesarios en el receptor para poder realizar una correcta decodificación de los datos recibidos.

Cada portadora lleva información de distintos tipos, se hace necesario realizar una separación entre los distintos tipos de información; este es el objetivo del demultiplexor de trama. Este bloque se encarga de sacar por canales distintos los datos y la información del sistema.

Otro aspecto importante de este bloque es que tiene que haber una buena sincronización para realizar un buen desentramado.

**Decodificador de la Información del Sistema**

Este bloque se encargará de la decodificación de la información transportada por las portadoras. Las muestras correspondientes a estas portadoras se encuentran a la entrada de este elemento a partir de la entrega realizada por el demultiplexor de trama.

**Decodificador de canal**

En transmisión el codificador de canal está formado por el código convolucional, el intercalado en frecuencia y la constelación.

ESTA TENIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

En teoría el decodificador de canal debería de ser el bloque que deshiciera las acciones realizadas por los bloques anteriormente mencionados del transmisor, sólo que ahora hay que tomar decisiones sobre la señal recibida. El estándar da libertad para la realización del receptor, y es en este bloque donde se puede hacer uso de esta libertad para crear receptores con diferentes esquemas.

#### **Eliminación del intercalado**

La misión que tiene este bloque es de limitar las longitudes de las posibles ráfagas de errores que se puedan producir, para que los errores estén lo más dispersos posible. Con esto se logra que su detección y corrección sea más fácil de realizar.

La única característica que diferencia intercalado en transmisión que en recepción es que los registros crecen de forma contraria, lo cual tiene como objetivo compensar los retardos introducidos en transmisión, de forma que todos los bytes sufran el mismo retardo.

#### **Desaleatorizador de Energía**

La misión de este bloque en el receptor es la de recomponer la secuencia original y conseguir así los datos que constituían las tramas de entrada. Empleando en recepción la misma secuencia pseudoaleatoria es posible deshacer el proceso de aleatorización

## Capítulo IV: Sistemas Propuestos Actualmente para la Radiodifusión Sonora Digital

La radiodifusión sonora digital es la nueva forma de transportar la señal radiofónica, se presenta como un universo lleno de oportunidades y la enumeración de bondades no cesa: apretando un botón la información aparece escrita en la pantalla; se pueden ver reportes de noticias o del tiempo, escuchar un disco compacto, conocer detalles del artista y hasta comprar ese disco, todo es posible gracias a esta cadena de datos que va junto con el audio.

Dentro del concepto de transmisión digital de audio se distinguen varias tecnologías fundamentales: El sistema IBOC (Utilizado en Estados Unidos) y el formato DAB (Eureka-147, Utilizado principalmente en Europa). Además del sistema DRM, para frecuencias menores a los 30 [MHz] y los sistemas por satélite.

### 1 Sistema Eureka 147 (DAB)

#### 1.1 Introducción

DAB, son las siglas de Digital Audio Broadcasting (Radiodifusión de Audio Digital). También conocido con el nombre de sistema Eureka 147. Los primeros trabajos sobre DAB aparecieron en Alemania, en el Instituto für Rindfunktechnik en el año 1981. Posteriormente, en 1987, se formó el proyecto Eureka 147 en el que han contribuido emisoras, centros de investigación, operadores de redes y firmas de electrónica de consumo. El número 147 proviene de que resultó ser, después de mucho tiempo, el 147º proyecto técnico.

El consorcio Eureka 147 es la principal institución sobre DAB, pues fue quién lo creó y quién sigue desarrollando estándares que lo complementan y mejoran. La especificación de este sistema fue estandarizada por el ETSI (Instituto Europeo de estándares de Telecomunicaciones) en febrero de 1995 (ETS 300-401) y ha sido recomendado por la ITU para transmisiones de audio tanto terrestres como satelitales.

El World DAB Forum (Foro Mundial sobre DAB) se dedica, según sus propias palabras, a convertir el sistema DAB, un brillante logro de la ingeniería en un éxito comercial a nivel mundial. Trabaja ayudando en la cooperación internacional entre operadores de red, emisoras, gobiernos, fabricantes, etc. Como el trabajo del Consorcio Eureka 147 ha llegado casi al final, perfeccionando ahora el sistema DAB, lo apropiado sería que Eureka 147 se fusionase en el World DAB Forum en el futuro.

#### 1.2 Las principales ventajas que ofrece DAB

##### ➤ Mejoras en la recepción

Mediante el sistema DAB los efectos de distorsión de canal y atenuación pueden ser eliminados de la señal recibida por el receptor, incluso se superan los efectos que la propagación multirrayectoria produce en los receptores estacionarios, portátiles y móviles, además de protegerse la información frente a interferencias y perturbaciones. Estas mejoras se logran mediante la modulación COFDM que utiliza un sistema de codificación para distribuir 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).

##### ➤ Calidad de sonido

Podemos alcanzar una calidad equivalente a la de un CD gracias a la capa II del estándar MPEG Audio. 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]).

➤ **Servicios de datos**

Junto a la señal de audio se transmite otra información:

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 [bps] con MPEG-1 o 333 [bps] con MPEG-2)

Servicios adicionales. 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 subscriptor no forma parte del estándar DAB

➤ **Cobertura**

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.

➤ **Eficiencia en la utilización del espectro y la potencia.**

Se consigue intercalando señales de varios programas junto a una especial característica de rehusó 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.

➤ **Distribución**

Se puede realizar por satélite y/o por transmisiones terrenales o de cable utilizando diferentes modos que el receptor detectará automáticamente.

➤ **Multiplexado**

El sistema DAB permite multiplexar varios programas y servicios de datos para formar un bloque y ser emitidos conjuntamente, obteniéndose la misma área de servicio para todos ellos.

➤ **Capacidad**

Cada bloque (múltiplex) tiene una capacidad útil de aproximadamente 1.5 [Mbps], lo que por ejemplo permite transportar 6 programas estéreo de 192 [kbps] cada uno, con su correspondiente protección, y varios servicios adicionales.

➤ **Flexibilidad**

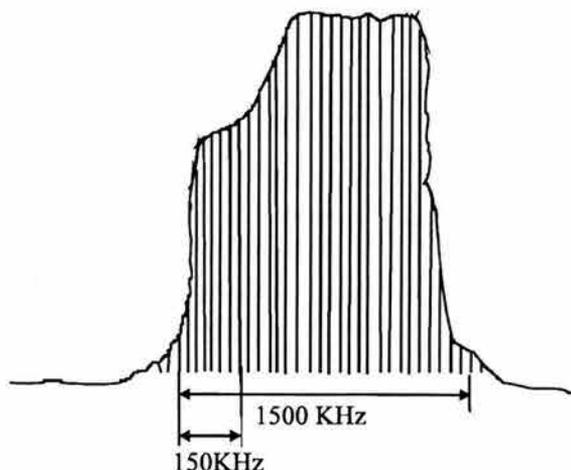
Los servicios pueden estructurarse y configurarse dinámicamente. El sistema puede acomodar velocidades de transmisión entre 8 y 380 [kbps] incluyendo la protección adecuada. Por ejemplo, una emisora de radio durante un programa donde se debate o dialoga puede emitir usando una velocidad baja (con 64 ó 96 [kbps] es suficiente), ocupando un ancho de banda pequeño, mientras que a otras horas puede emitir audio estéreo con velocidades mayores (128 ó 192 [kbps]) y por lo tanto requerirá mayor ancho de banda

### 1.3 Descripción General

Las señales analógicas en ondas métricas sufren desvanecimientos selectivos en frecuencia cuando se utiliza como receptor un monopolo vertical sencillo en zonas urbanas densas, esto debido a las reflexiones por propagación multitrayectoria. El desvanecimiento selectivo en

frecuencia afecta a la calidad de la señal de audio recibida, en forma de degradación para la respuesta en frecuencia, por distorsión no lineal y de la baja relación señal a ruido. Dicho desvanecimiento se deriva de la combinación de las señales directa y retardada en la antena receptora.

La diferencia entre los trayectos de las señales directa y reflejada provoca la aparición de una diferencia de fase entre estas señales. A ciertos puntos llegan en fase (y la señal se refuerza) mientras que a otros llegan desfasadas (creando nulos en la banda de paso). En consecuencia, algunas frecuencias de la banda quedan fuertemente atenuadas y otras quedan reforzadas de forma dinámica a medida que el receptor está en movimiento. En la Fig.1.1 aparece un ejemplo de espectro del sistema Eureka-147 cuando resulta afectado por el desvanecimiento selectivo en frecuencia.



*Figura 1.1 Espectro del sistema de Eureka-147 afectado por desvanecimiento selectivo en frecuencia*

Este fenómeno provoca la pérdida total o parcial de información en FM y repercute sobre la calidad de audio recibida. Cuando se trata de recepción móvil en un vehículo, la situación no es distinta, y suele ser incluso peor debido a la rápida y continua fluctuación de la señal.

En los lugares más problemáticos, donde aparecerá el fenómeno de propagación multirayectoria corto debido a la presencia de grandes superficies reflectoras situadas próximas al receptor (por ejemplo, grandes edificios con exteriores planos), el ancho de un desvanecimiento selectivo en frecuencia puede llegar a ser de 300 [kHz]. Esto significa que se produciría una pérdida completa de la señal de FM cuando se recibe con una pequeña antena de látigo en un vehículo. Una antena receptora directiva puede disminuir notablemente este tipo de desvanecimiento si el emplazamiento es fijo. La utilización de diversidad de antenas (es decir, dos antenas situadas a una distancia de al menos  $\lambda/2$  con la adecuada combinación de potencias) también puede reducir en gran medida esta clase de desvanecimiento tanto en la recepción móvil como en la fija.

En el sistema Eureka-147, el ancho de banda de RF útil es de 1500 [kHz], asegurando de esa forma que incluso en emplazamientos difíciles se recibe adecuadamente al menos 4/5 del ancho de banda. Además de esto el sistema Eureka 147 compromete dos elementos principales, los cuales hacen posible su eficiencia.

- Codificación de Audio: (MUSICAM MPEG AAC).
- Modulación COFDM.

## 1.4 Funcionamiento del sistema DAB

### 1.4.1 Codificación de la fuente.

El sistema DAB emplea un sistema de codificación denominado MUSICAM que se corresponde con la capa II del sistema de codificación MPEG.

Cuando se hace un muestreo a 48 [kHz] se usa la norma MPEG-1 y cuando la frecuencia de muestreo es de 24 [kHz] se sigue la norma MPEG-2. La frecuencia de muestreo de la señal MIC (Modulación por Impulsos Codificados), tanto de entrada en la parte de transmisión como de salida en la parte de recepción, debe ser siempre 48 [kHz], cuando se usa MPEG-2 es necesario cambiar la frecuencia de muestreo de 48 [kHz] a 24 [kHz] en ambos extremos de la cadena.

El codificador procesa la señal MIC y genera una salida de tasa binaria desde 8 [Kbps] a 384 [kbps]. El sistema MUSICAM lo podemos definir como un sistema de codificación que emplea diferentes técnicas estadísticas y modelos psicoacústicos del oído humano para comprimir la información de audio eliminando la información redundante e imperceptible. Además, los codificadores incluyen en la trama de salida los datos PAD (Program Associated Data) del programa y CRC (Código de redundancia cíclica). La trama de audio se puede observar en la siguiente figura del ETS 300 401.

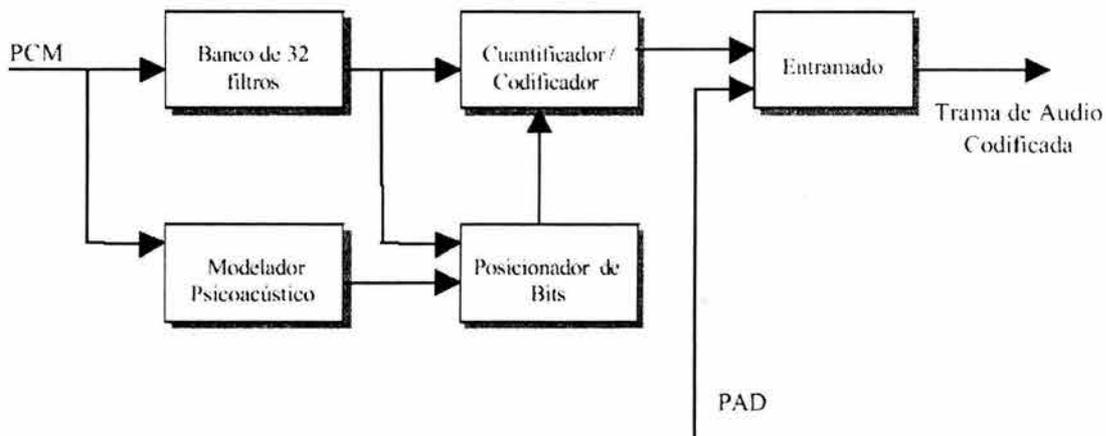


Fig. 1.2 Codificador Audio DAB

La señal de entrada PCM es conducida en primer lugar a un banco de 32 filtros que reparte la señal de entrada en 32 bandas distintas (grupos de 36 muestras), el modelador psicoacústico determina la forma en la que el cuantificador/codificador tratará cada banda. Para hacer esto último el posicionador de bits recoge los datos del modelador psicoacústico y determina el trato que recibirá cada banda respetando en cualquier caso la duración y tamaño de la trama de audio. Finalmente, en el bloque de entramado se forma la trama de audio DAB (audio + PAD) que corresponde con 1152 muestras PCM y tiene una duración de 24 [ms], se incluye la información de audio y los datos necesarios para su decodificación.

El modelador psicoacústico consigue eliminar la información que el oído humano no percibe:

- Sonidos por debajo del umbral audible.
- Sonidos que quedan enmascarados por otros más intensos.

En primer lugar se desentraman el audio codificado para de este modo conseguir por separado audio, PAD, datos de reconfiguración. El bloque reconstructor usando la información de control recupera las 32 bandas que finalmente se filtran de forma inversa a la empleada en el codificador

para obtener de nuevo la señal PCM inicial. Con este método de codificación se consigue comprimir la señal de audio disminuyendo el flujo binario de salida sin que se degrade la calidad de la señal. Es posible difundir un canal monofónico con tasas de 32, 48 y 56 [kbps], dos canales o estereofónicos a partir de 64 [kbps] y se consigue sonido de alta calidad a partir de 224 [kbps].

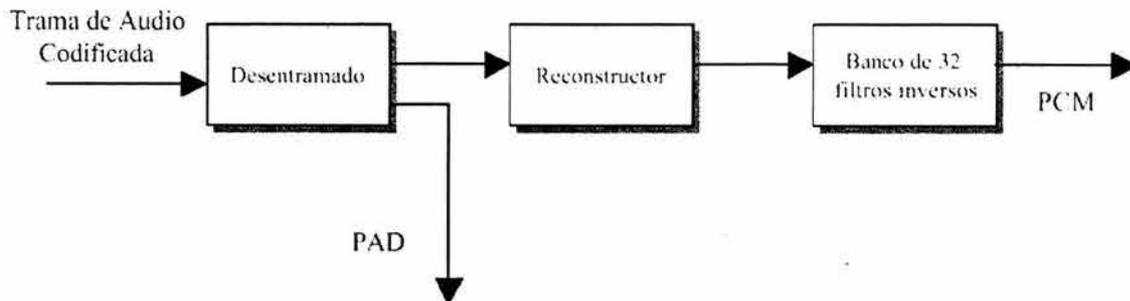


Fig. 1.3 Decodificador DAB

### 1.4.2 Procesado de la señal

Tras la obtención de la señal codificada se realizan una serie de procesos:

#### ➤ **Dispersión de energía.**

La misión de este proceso es asegurarse que la energía de la señal se distribuya uniformemente y mantenga un nivel medio constante. Para hacer esto se suma la señal de entrada con una secuencia pseudoaleatoria. Con esto se consigue que la señal presente las propiedades espectrales de este tipo de señales. Así la energía se distribuye de manera uniforme en el espectro. Empleando en recepción la misma secuencia pseudoaleatoria es posible deshacer este proceso. Una secuencia pseudoaleatoria se genera a partir de un polinomio generador y un registro de desplazamiento.

#### ➤ **Codificación Convolutiva.**

La salida del dispersor de energía se introduce a un codificador convolutiva. La misión de este bloque es generar un código de redundancia que sirva para poder corregir los errores que aparecen en la recepción por efecto de la propagación de la señal. Así, se añaden al flujo binario de entrada una serie de bits que sirvan para reducir la probabilidad de error del sistema.

La codificación convolutiva puede ser aplicada de dos formas distintas:

Unequal Error Protection (UEP): diseñada especialmente para audio.

Equal Error Protection (EEP): Diseñada tanto para datos como para audio.

De esta manera se puede aplicar una redundancia distinta a cada fuente de audio. Lo único que hay que tener en cuenta es que la tasa binaria de salida cumpla con los requisitos establecidos. Las posibles tasas de codificación son: 1/3 máximo nivel de protección, 3/7, 1/2, 3/5, 3/4 nivel mínimo de protección.

#### ➤ **Intercalado en tiempo.**

El intercalado en tiempo tiene como objetivo lograr independizar la probabilidad de error de los bits del mismo código convolutiva. Si tenemos un código y por motivos de propagación se produce un fallo es muy probable que el fallo no se dé en un solo bit, sino que queden afectados varios de los bits que forman el código. Si esto ocurre se pierde toda la utilidad del código convolutiva. La solución del entrelazado temporal consiste en separar en el tiempo los bits de un código de forma que no se transmitan consecutivamente, si la separación entre los bits es suficiente para poder considerar que las condiciones de la propagación tengan gran posibilidad de haber variado se consigue que los fallos que afectan a cada bit del código sean independientes. El entrelazado

temporal es muy efectivo cuando se considera recepción móvil. Al incluir este entrelazado en el tiempo se producen retardos en la demultiplexación, por este motivo no se aplica este proceso al FIC(Fast Information Channel).

➤ **Generación de los símbolos QPSK.**

Tras el entrelazado en el tiempo se realiza la multiplexación del MSC y el FIC. Tras este multiplexado se lleva la trama a un mapeador de símbolos QPSK. QPSK en el dominio de la frecuencia. Posteriormente aplicando la IFFT es posible generar la señal OFDM en el tiempo partiendo de las muestras espectrales de los símbolos QPSK.

El siguiente paso consiste en realizar un entrelazado en frecuencia para proteger al sistema contra los desvanecimientos selectivos, finalmente se generan símbolos D-QPSK y se introducen los símbolos de sincronismo, símbolo nulo y de fase.

➤ **Intercalado en frecuencia.**

Los símbolos QPSK son llevados a diferentes portadoras, se separan los datos consecutivos en diferentes frecuencias. Con este procedimiento se consigue gran robustez ante los desvanecimientos selectivos que afectan a ciertas frecuencias. Al realizar este entrelazado en frecuencia de las muestras se consigue que en caso de producirse un desvanecimiento selectivo no queden afectadas las muestras sucesivas de la señal. Nuevamente la forma de realizar el entrelazado en frecuencia depende del modo DAB escogido para la transmisión.

➤ **Generación de símbolos D-QPSK. Símbolos de sincronismo.**

Tras entrelazar la señal en frecuencia en las distintas portadoras se aplica una modulación diferencial a cada uno de las portadoras. Este bloque se encarga de generar símbolos D-QPSK a partir de los símbolos QPSK generados en el mapeador. Para realizar esto se suma una fase de referencia a los coeficientes de los símbolos QPSK. La utilización de una modulación diferencial se debe a que con este tipo de modulación se disminuye en gran manera la complejidad del receptor. Al emplear una fase de referencia es necesario que el demodulador conozca este valor para poder demodular el primero de los datos recibidos. A partir de aquí se puede usar la fase de los datos anteriores. Por este motivo es necesario introducir en la trama un símbolo de sincronismo de fase que ayude al receptor a realizar la demodulación correctamente.

Además de este símbolo de fase se inserta un símbolo nulo al principio de un valor conocido para sincronizar al demodulador de forma que conozca el momento en que debe comenzar a demodular. Dichos símbolos de sincronismo se incluyen en el canal de sincronización. Por otro lado se añade a la trama información acerca del transmisor en el que se genera la misma. Esta información se denomina TII (Transmitter Identification Information)

### 1.4.3 Sistema de Modulación COFDM.

La COFDM usa una relación precisa matemática que divide la señal de radio a lo largo de múltiples portadoras ortogonales para la modulación, en el ancho de banda atribuido. Por consiguiente, todas las portadoras se modulan con una pequeña fracción de los datos totales dando lugar a un período de símbolos muy grande. Las portadoras son ortogonales entre sí de manera que no se produce nominalmente interferencia mutua.

Esto asegura que, aunque parte de la señal sea afectada por interferencia o se pierda la señal por un período corto, el receptor va ha ser capaz de recuperar la fuente original y reconstruirla perfectamente. Sin embargo, si los canales son variables en el tiempo, como sucede en el caso de los receptores a bordo de un vehículo, existe un límite del alargamiento del período de símbolos porque la decodificación comienza a resultar afectada por la variación del canal, que puede considerarse como una dispersión por efecto doppler. Para el sistema Eureka-147 debe seleccionarse el modo de transmisión adecuado (modo de transmisión I, II, III y IV) dependiendo de la frecuencia portadora y de la máxima velocidad del vehículo para la que debe proporcionarse recepción sin degradación.

Además, se ha comprobado que si antes de cada símbolo se inserta un espacio separador, correspondiente al 25% del periodo del símbolos (intervalo de guarda), para absorber la posible interferencia por multitrayectoria (símbolos retardados) causada por la orografía del terreno y de las zonas urbanizadas, la recepción no se verá afectada por dichos símbolos retardados ya que el receptor los ignora (el receptor está programado para no decodificar la señal durante este intervalo de guarda). Los símbolos con un retardo mayor que el de este intervalo de guarda estarán lo suficientemente atenuados como para no provocar interferencia entre símbolos. La Fig. 1.4 muestra el intervalo de guarda y el período de símbolos de las señales directa y retardada.

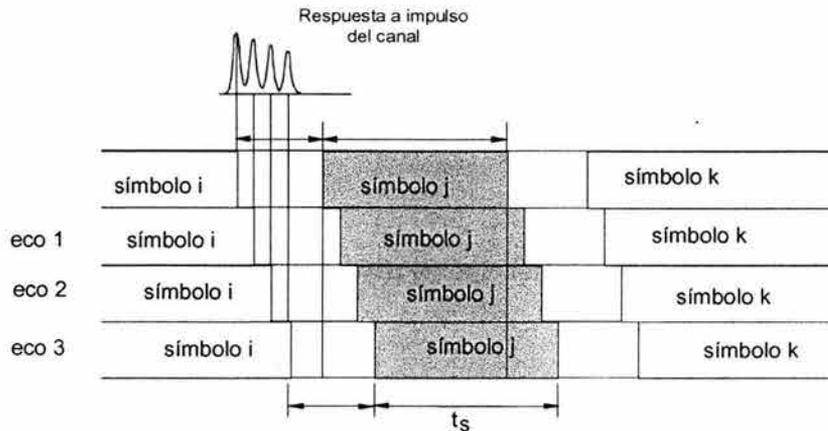


Fig. 1.4 Intervalo de guarda que absorbe los símbolos retardados

Con Eureka-147, la misma frecuencia en cada transmisor y en áreas donde exista traslape, las señales fortalecen la señal recibida en el receptor. Es decir, se refuerza la protección contra ecos cuando el receptor ve la señal directamente del transmisor junto con un número de señales retardadas debido a reflexiones del terreno y construcciones, repitiendo deliberadamente parte de cada símbolo en el llamado intervalo de guarda, COFDM provee tolerancia contra la interferencia intersimbólica. Mientras el retardo de las señales de eco sea menor que el intervalo de guarda, existirá un beneficio constructivo en la recepción. La idea del sistema es aprovechar los ecos de una señal distante operando en el mismo canal, de modo que aumente la potencia en el receptor

De la modulación para DAB se puede destacar como se ve influida por la configuración que se haya escogido para la trama. De esta forma, el número de portadoras, por ejemplo, depende del modo empleado para la trama. El modo define la duración del símbolo, entre otros parámetros, y con ello la separación de las portadoras COFDM al tener que estar separadas la inversa del período de símbolo. Además de emplearse la modulación COFDM se ha realizado un procesado de la señal previo, aplicándose por ejemplo, un código convolucional o sendos entrelazados en tiempo y en frecuencia, con estos procesos se consigue hacer la señal más robusta frente a errores.

Intuitivamente el sistema de modulación puede verse como un sistema de N moduladores D-QPSK, siendo N el número de portadoras del sistema DAB. El sistema demodulador sería el inverso. Sin embargo, haciendo un análisis matemático es posible comprobar como la expresión de una señal COFDM en el tiempo puede ser expresada mediante la expresión de la IFFT y ciertos factores de escala. Así, aplicar esta transformada a los símbolos DAB de cada portadora en el dominio de la frecuencia equivale a usar N moduladores QPSK diferenciales. En el extremo receptor se aplica el proceso inverso, la FFT obteniéndose a partir de las muestras de la señal en el tiempo de nuevo los símbolos de cada una de las portadoras. Resumiendo, en el extremo transmisor se parte de las muestras de la señal COFDM en el dominio de la frecuencia (mapeado QPSK) y se aplica la IFFT para obtener la señal COFDM en el tiempo. En el extremo opuesto, el receptor se aplica el proceso inverso, transformación tiempo-frecuencia.

Hay que tener en cuenta que el espectro depende del modo de transmisión que se ha escogido para la red. Como características comunes se pueden decir que todos los modos emplean transmisión multiportadora, que en todos los modos el ancho de banda del espectro es 1,536 [MHz] y que en este ancho de banda el espectro es plano.



Fig. 1.5 Espectro del Modo I DAB, 1536 portadoras.

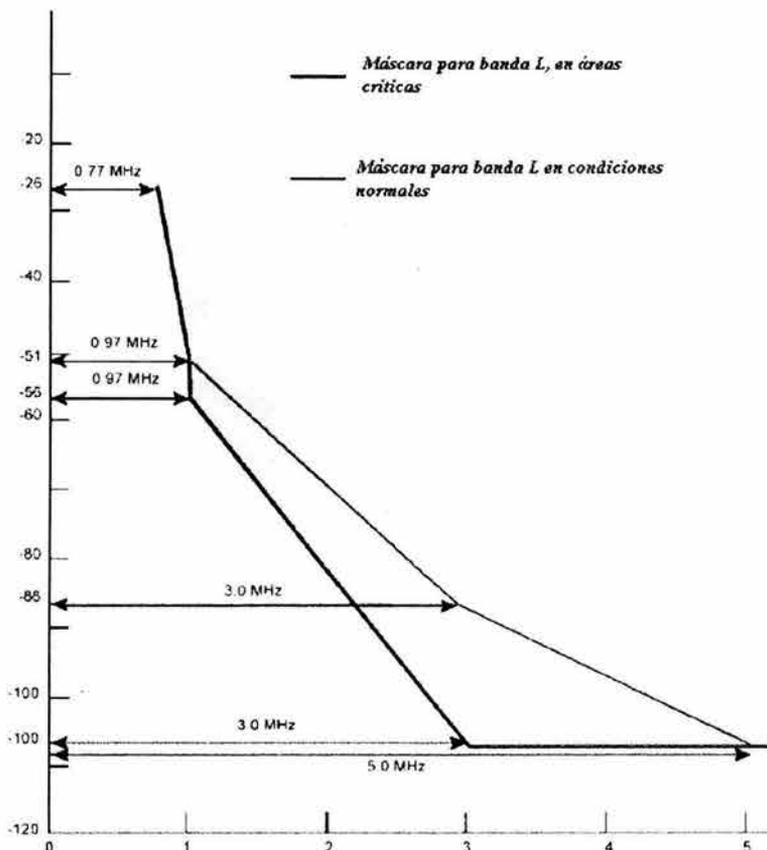


Fig. 1.6 Máscara Para Banda L

Una vez generada la señal que va ser radiodifundida es necesario filtrarla para evitar la creación de interferencias a los canales adyacentes. La máscara del filtro es distinta según el caso particular de cada transmisor, así, los transmisores que se encuentren en zonas en las que pueda afectar en

mayor grado la interferencia de canal adyacente deben tener una máscara más restrictiva. El operador de servicio debe ser consciente de la importancia que tiene eliminar la interferencia de canal adyacente, por este motivo debe realizar todo lo posible para evitar este tipo de interferencia.

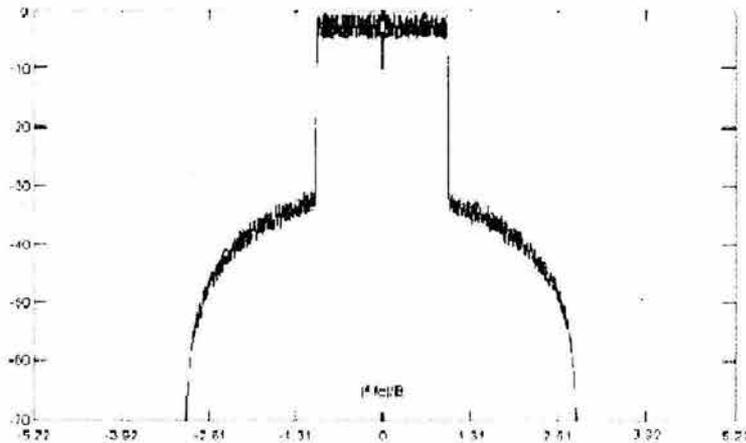


Fig. 1.7 Espectro de la Señal Radiada

#### 1.4.4 Multiplexación

Como distintos tipos de información (audio, vídeo y texto) exigen diferentes velocidades de transmisión de datos, la eficacia de la transmisión DAB depende en gran medida del contenido del múltiplex que se transporta. Este contenido variará con el tiempo dependiendo de la calidad de los canales de audio (música de alta calidad, noticias, señales vocales, etc.), de su número y de la capacidad de los servicios de datos. Los modernos sistemas de transmisión digital tales como Eureka-147, puede asignar capacidad múltiplex variable por cada servicio.

Esto es posible mediante la transmisión de la MCI (multiplex configuration information) transmitiéndola en el FIC (Fast Information Channel) de la trama DAB. Gracias a esta característica, la velocidad de transmisión de datos puede modificarse dinámicamente (cada 24 [ms]) de acuerdo con el tipo de programa que va a transportarse. El cambio de la velocidad de datos se notifica a través del FIC. Ello se traduce en un múltiplex plenamente utilizado ajustando la capacidad de los servicios de datos (servicios en tiempo no inmediato) en función de las necesidades de los servicios de audio (servicios en tiempo real) que depende de la calidad del programa que va a difundirse.

La información a ser entregada al auditor, ya sea audio, servicios personales, datos ó multimedia, deben ser combinados en una sola trama al momento de transmitirse (multiplexión), dando origen a una trama de datos.

La trama ilustrada en la Fig.1.8 representa a la trama DAB multiplexada, distinguiéndose tres elementos:

- Canal de sincronización, necesario para la sintonización y temporización del transmisor con el receptor.
- Canal de información rápida (FIC), encargado de llevar información respecto de la estructura y tipo de datos, además permite la decodificación de información individual.

- Canal de servicio principal (MSC), contiene las tramas de audio o paquetes de datos de los diferentes servicios impartidos. Esta es la parte importante de la información por la que el usuario paga.



Fig.1.8 Multiplexado DAB

La capacidad neta del canal es de 1.8 [Mbps], al agregarle redundancia llega aproximadamente a 2.3[Mbps] que es la capacidad del MSC. Gracias a la flexibilidad de MUSICAM se pueden lograr distintos tipos de servicio; variando principalmente la tasa de bits el nivel de protección de la información, algunas configuraciones por ejemplo son:

- 5 programas de audio a 256 [kbps]. Con 58 [kbps] de otros datos de la programación.
- 6 programas de audio a 192 [kbps] (calidad CD estéreo). Con 45 [kbps] para otros programas de datos.
- 2 programas de audio de 256[kbps] y 3 programas de audio de 192 [kbps], con un canal de datos de 150 [kbps].
- 18 programas de audio usando 96 [kbps] (CD monoestéreo).
- 1 canal de datos usando 1824 [kbps].

La salida del multiplexor "DAB ensemble" también se llama ETI (Ensemble Transport Interface). Este ETI es una interface de 2 [Mbps]. La trama ETI se distribuye en 1536 portadoras (en modo I), que cada una de ellas están moduladas QPSK a la correspondiente baja velocidad. Las portadoras están colocadas de forma que no influya en las demás. Como resultado el periodo de cada símbolo que se obtiene es considerablemente superior que cualquier retardo de señal.

El sistema Eureka-147 mantiene la eficacia en la utilización del espectro transportando varios canales de audio, vídeo, texto y datos en el múltiplex. Cada tipo de datos se protege individualmente (utilizando varios índices de código FEC mediante codificación perforada), dependiendo de su importancia, antes de la multiplexión. Para un ancho de banda útil nominal de 1 536 [MHz] donde se utiliza QPSK (2 bit/s/Hz) y suprimiendo la capacidad ocupada por el intervalo de guarda que representa el 20% del periodo de símbolos total y la capacidad del FIC, la velocidad binaria bruta resultante que puede transportar el sistema Eureka-147 es de unos 2,3 [Mbps].

En el DAB, estos datos multiplexados se distribuyen a lo largo de 1 536 portadoras (para la transmisión en ondas métricas en modo I). La separación entre portadoras es de 1 [kHz] en modo I, 4 kHz en modo II (para las ondas decimétricas) y 8 [kHz] en modo III (para las bandas de 1.5, 2.3 y 2.5 [GHz]). Con posterioridad se introdujo el modo IV con una separación de 2 [kHz] para la transmisión terrenal a 1,5 [GHz].

Existe una relación directa entre el período útil de símbolos y la separación de portadoras. Para una separación de 1 [kHz], el período útil de símbolos es de 1 [ms]. Para 2, 4 y 8 [kHz], el correspondiente período útil de símbolos es de 0.5, 0.25 y 0.125 [ms], respectivamente. Los intervalos de guarda correspondientes representan aproximadamente el 25% del período útil de símbolos y el número de portadoras con el ancho de banda de canal también está relacionado con el período útil de símbolos, como se indica en la Tabla 1.1.

Parámetro	Modo I	Modo II	Modo III	Modo IV
Separación de Portadoras [kHz]	1	4	8	2
Duración del Símbolo Nulo [μs]	1297	324	168	648
Tiempo Útil de Símbolos [μs]	1 000	250	125	500
Intervalo de Guarda [μs]	246	62	31	123
Periodo Total de Símbolos ( $\Delta+T_s$ ) [μs]	1 246	312	156	623
Número de Portadoras	1 536	384	192	768
Duración de Trama Total [ms]	96	24	24	48
Rango de Frecuencia	<375 [MHz]	<1.5 [GHz]	<3 [GHz]	<1.5 [GHz]
Distancia Máxima Nominal entre Transmisores [km]	96	24	12	48

Tabla 1.1 Diferentes Modos de Transmisión

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

Diagrama descriptivo del proceso técnico para generación y recepción de la señal DAB.

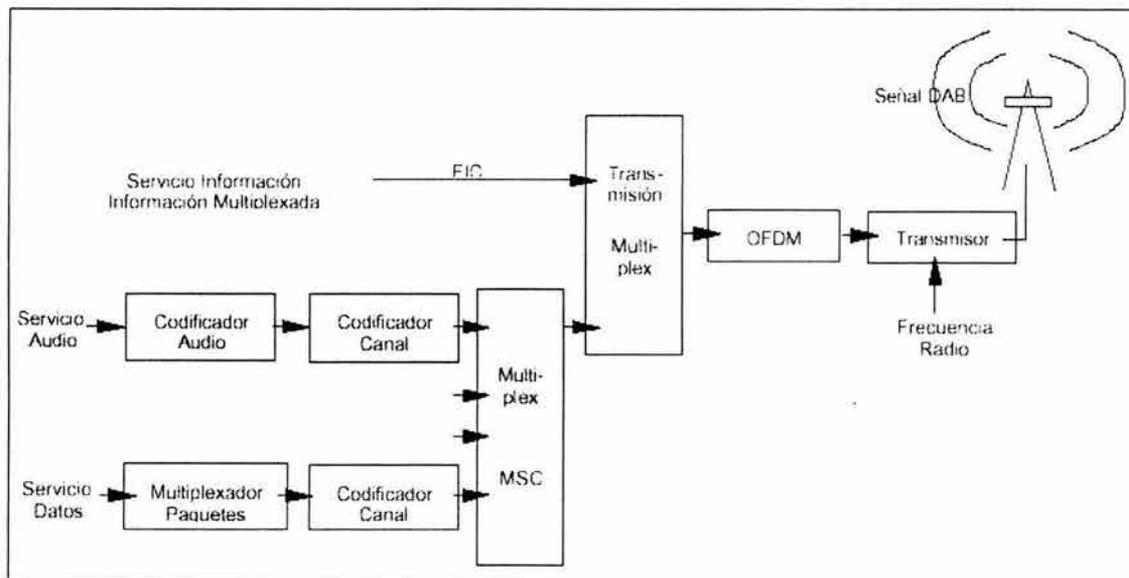


Fig. 1.9 Generación de la Señal DAB

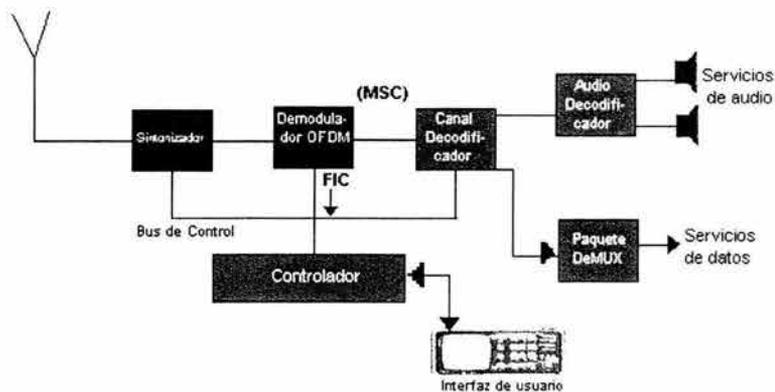


Fig. 1.10 Recepción de la Señal DAB

1.5 SFN para DAB.

El tomar ventaja de la multipropagación es una idea que permitirá crear la llamada red de frecuencia única (SNF) en donde, la interferencia causada por transmisores a grandes distancias del mismo programa y en la misma frecuencia dejará de ser considerada como negativa, algo que con los sistemas anteriores habría sido imposible de concebir. Esto es posible porque el máximo retardo de la señal resultante por el transmisor más alejado, es más corto que el intervalo de guarda.

Una red de frecuencia única utiliza el mismo canal de radiofrecuencia para difundir un mismo programa en una misma zona. Esto es debido a la inserción de un intervalo de guarda en la información transmitida. Durante el intervalo de guarda todos los ecos recibidos por el receptor contribuyen positivamente, esto es, las señales que se reciben después de la principal no causan interferencias. Se puede así disminuir la interferencia cocanal de gran forma, lo que permite la disminución de las relaciones de protección.

Para conseguir que en la zona de cobertura los ecos que se reciben en el receptor lleguen dentro del intervalo de guarda, como primera aproximación empleando dos transmisores hay que separarlos una distancia menor a la que avanza la onda en el intervalo de guarda. Por otro lado los transmisores que trabajen en redes de frecuencia única deben cumplir estrictamente con estas tres reglas:

- Radiar la misma información.
- Al mismo tiempo.
- A la misma frecuencia.

Para conseguir esto es necesario realizar un proceso de sincronización en los distintos centros de la red. Para esto es necesario emplear una referencia de tiempo y frecuencia. Esto es bastante sencillo de conseguir si se emplean receptores de GPS (Global Position System).

Se define la ganancia de red como la zona de cobertura que se gana al trabajar en redes de frecuencia única. Esto es posible al ser la intensidad de campo total utilizable mayor que la que procede de un solo transmisor, las intensidades de los distintos transmisores se suman en el punto de recepción siempre que se reciban en el intervalo de guarda.

Cuando se reciben señales fuera del intervalo de guarda se produce interferencia. Estas pueden ser de dos tipos:

- Entre símbolos: ISI (Intersymbol Interference).
- Entre Portadoras: ICI (Intercarrier Interference).

Por lo tanto en la implantación de una red de frecuencia única habrá que tener en cuenta estos detalles. Para su diseño habrá que jugar con las distancias, potencias y emplazamiento de los transmisores hasta conseguir el resultado deseado.

El operador de red juega un papel esencial en la sincronización, debe asegurar que la red está completamente sincronizada para que la recepción sea posible y de buena calidad. Un factor clave para el correcto funcionamiento de las redes isofrecuencia es la existencia de un intervalo de guarda dentro del cual toda señal que llegue al receptor, bien de forma directa o mediante multitrayectorias, aporta información útil. Surge así el concepto anteriormente mencionado de ganancia de red, que define la ganancia en recepción de las redes SFN frente a la transmisión de la señal mediante un sólo transmisor.

### **Algunas características de la planificación**

En el sistema Eureka 147 pueden utilizarse de manera eficaz un transmisor repetidor que funciona en la misma frecuencia para iluminar zonas de sombra o emplazamientos con un elevado nivel de ruido cerca de señales de tráfico.

Se utiliza una antena directiva de alta ganancia para la recepción de la señal DAB procedente del transmisor principal con la condición de visibilidad directa, amplificada y retransmitida a la misma frecuencia con una antena omnidireccional situada en las proximidades de los emplazamientos en cuestión. La siguiente figura muestra esta configuración. Debido a la propiedad intrínseca del sistema Eureka 147, los receptores consideran todas las señales presentes en su entrada como

ecos, con independencia de que sean activas o pasivas, y utilizan su suma de potencias siempre que caigan en el intervalo de guarda para decodificar la señal. Estos "repetidores" se denominan a menudo "de relleno".

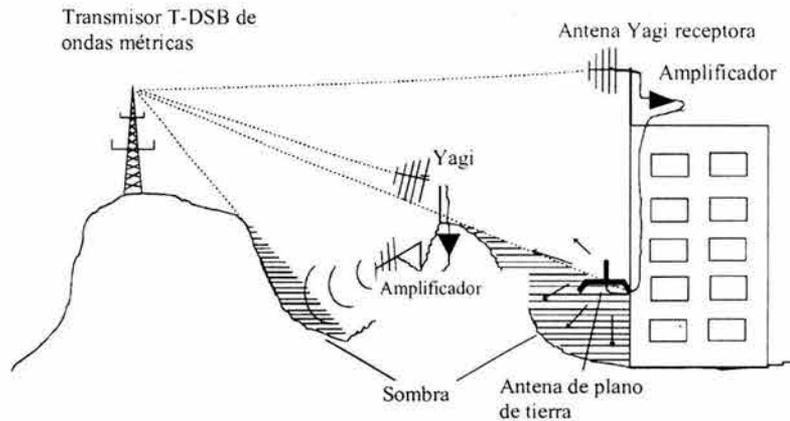


Fig. 1.11 Transmisor de relleno

Con la ayuda transmisores de relleno pueden cubrirse pequeñas zonas de sombra tales como las que aparecen en núcleos urbanos de alta densidad de edificios, túneles, puentes, etc. Tales transmisores de relleno también pueden utilizarse para ampliar la cobertura de un transmisor principal, utilizando antenas de potencia más elevada y sectoriales dirigidas hacia el exterior. Sin embargo, debido a las limitaciones resultantes de las ubicaciones de los emplazamientos de transmisión, la geometría correspondiente y el ancho del intervalo de guarda, la ampliación de la cobertura resulta en cierto modo limitada.

Para mayor ampliación de la cobertura lo más idóneo es utilizar redes de frecuencia única. En este caso, los datos multiplexados se distribuyen por otros medios a varios transmisores estratégicamente situados para cubrir uniformemente la zona objeto, optimizando la potencia y el retardo relativo para lograr la mejor cobertura.

A fin de resincronizar el múltiplex de datos en cada transmisor y ajustar el retardo relativo, el múltiplex debe temporizarse en el punto de origen. Por esa razón, antes de la distribución de los datos de la Recomendación UIT-T G.703 (Independientes de la red), se convierte la estructura de la trama a la de la Recomendación UIT-T G.704 (Adaptada a la red) en la que se facilita una indicación de tiempo.

En cada transmisor, se sincroniza el múltiplex recibido con la referencia de tiempo y frecuencia, obtenida del receptor GPS, quedando de este modo enganchados y sincronizados con esta referencia común tanto la frecuencia como los datos de todos los transmisores. Los estudios realizados ponen de manifiesto que la intensidad de campo de dos transmisores de la misma potencia puede aumentar hasta 7.5 [dB] para una disponibilidad del 99% suponiendo una desviación típica de la intensidad de campo de 5.5 [dB]. La Fig. 1.12 muestra un gráfico que resalta las ventajas de la planificación de la red de frecuencia única.

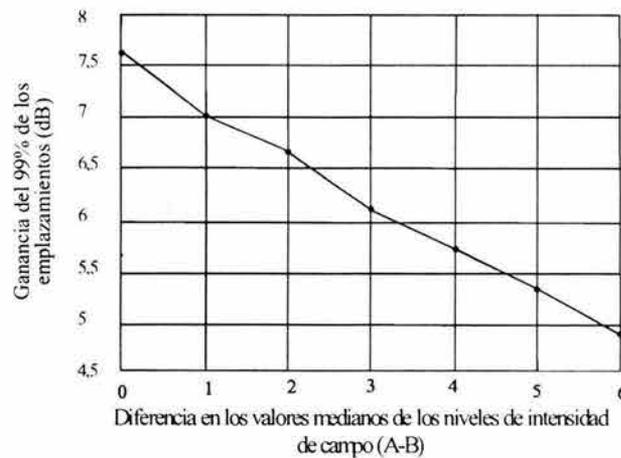


Figura 1.12 Ventajas de la Planificación de la SNF

## 2. Sistema IBOC (In Band/ On Channel)

### 2.1 Introducción

IBOC, son las siglas de In-Band/On-Channel, y corresponde a la tecnología que Estados Unidos optó por usar en lugar de Eureka 147. Al principio, la NAB (National Association Broadcasters) apoyó el sistema Eureka 147, ya que lo consideró como el mejor para innovar la radiodifusión de AM y FM. La NAB junto con la Asociación de Radiodifusores de Canadá (CAB), vieron con interés el nuevo desarrollo de radiodifusión digital y por ello decidieron apoyar en la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones (CAMR-92), el empleo de la banda L. Más adelante, la NAB cambió su posición, e indicó que la FCC (Federal Communications Commission), no podía garantizar las concesiones de radio en una nueva banda a los mismos radiodifusores, esto según sus leyes, podrían ser solicitadas por cualquier ciudadano de este país.

También, establecieron que el gobierno tiene asignado este segmento para telemetría militar y comunicación aeronáutica. Por estas circunstancias, en la CAMR-92 solicitaron la asignación de 50 [MHz], en la banda S para los servicios de radiodifusión vía satélite. Desde ese momento, al no aceptar el sistema europeo, Estados Unidos determinó concebir otro tipo de tecnología, diferente al sistema Eureka 147.

Así a principios de los años noventa, iniciaron el desarrollo de los sistemas de radiodifusión digital alternativos en banda S y terrestres. Dentro de los sistemas terrestres destacan los denominados en banda en canal y en banda pero en canal adyacente (IBOC). Su característica principal es no emplear otro espectro radioeléctrico, fuera del asignado para la radio AM y FM, pues se pretende que opere con la misma frecuencia.

Esto significa que, en las actuales estaciones de radio, mediante modificaciones de transmisores, antenas y otros sistemas podrían efectuar transmisiones digitales.

Ante este hecho y en respuesta a las numerosas protestas de radiodifusión digital, en octubre de 1991 la Asociación de Industrias de la Electrónica (EIA) en Estados Unidos, formó un subcomité de radio digital. La intención de la asociación fue evaluar y comparar todos los sistemas posibles de radiodifusión digital dentro de la banda pero en canal adyacente y por último, sistemas vía satélite.

De esta manera, con el fin de orientar el impulso de la radiodifusión digital, los empresarios norteamericanos adoptaron una serie de objetivos de desempeño específico, para cualquier sistema y fueron los siguientes:

- Debe ser eficiente desde el punto de vista de la ocupación del espectro.
- Debe ofrecer una mayor fidelidad de sonido.
- Debe de estar al alcance de todas las radiodifusoras de AM y FM actuales.
- No debe afectar la integridad económica de las radiodifusoras existentes de AM y FM
- El receptor debe de estar al alcance del consumidor promedio y
- Debe ser fácil su implementación administrativa.

De esta manera las empresas que iniciaron proyectos de sistemas en banda fueron: Communications, Kintel Technologies y USA Digital Radio.

La Empresa Amati desarrolló junto con AT&T un sistema de canal, pues empleó el espectro que esta adyacente al ancho de banda de 200 [KHz] del canal principal de la señal de FM.

Kintel, analizó el desarrollo un sistema al utilizar una técnica llamada multiplexión de potencia, cuyo fin fue colocar una señal justo debajo de la señal FM, en el mismo canal.

USA Digital Radio Parthers L. P., fue la organización más avanzada con el sistema dentro de la banda. Esta empresa trabajó conjuntamente con tres grandes radiodifusoras: Gannett Droagcasting, CBS División de Radio y el Grupo W radio, quienes pensaron transmitir una señal DAB por debajo de la señal FM en el mismo canal. También, impulsó un sistema dentro de la banda en el canal para radiodifusores AM.

Proponente	Tipo	Banda	Terrestre/Satelital
AMATI	IBOC	88-108MHz	Terrestre
AT&T	IBAC	88-108MHZ	Terrestre
USA RADIO AM	IBOC	530-1700KHz	Terrestre
VOA / NASA	BANDA ANCHA	2310-2360MHz	Satelital
USA DIGITAL	IBOC	88-108MHz	Terrestre

Tabla 2.1 Sistemas Evaluados IBOC

Las primeras demostraciones que se realizaron en Estados Unidos sobre los sistemas IBOC, fueron en la Convención de Radio en Nueva Orleáns en septiembre de 1992, y en Las Vegas en abril de 1993.

USA Digital Radio llevó a cabo la primera exhibición al aire, de un sistema IBOC FM dentro de la banda en el canal. La señal IBOC que se transmitió en la misma frecuencia de FM, con una milésima parte de la potencia de dicha señal. Además, la extracción de la señal de USA Digital, permitió que se recuperara limpiamente la señal IBOC y se recibiera libre de ruido, en un receptor de radio difusión sonora digital.

El resultado de estas primeras demostraciones, fue que la señal IBOC no produjo ninguna degradación notable en la calidad de recepción de FM, asimismo, no eliminaron las interferencias provocadas por la sombra u oscuros, y tampoco no fue posible recibir la señal en movimiento.

También, USA Digital realizó el primer ensayo al aire de IBOC en la banda AM, en el canal de 1000 [kHz]. En esta prueba, exhibieron una radiodifusión de señal sonora digital estéreo, comprimida dentro del espectro asignado de un canal AM en la banda. La conclusión de esta prueba no fue alentadora.

Más adelante, estas empresas se fusionaron, con el propósito de eliminar la competencia entre ellas. Para el año de 1999, sólo dos compañías continuaron analizando estos sistemas, USA Digital Radio, Lucent Digital Radio. En julio del año 2000, estas dos empresas se unieron y formaron la compañía Ibiquity Digital Corporation, con el fin de redoblar esfuerzos para el rápido desarrollo de la radiodifusión sonora digital en los Estados Unidos. Actualmente, es la única empresa que trabaja en el sistema IBOC.

En los últimos años el NRSC (National Radio Systems Committee), es la entidad que se ha encargado de evaluar y analizar, los resultados de las pruebas de los sistemas IBOC, al realizar demostraciones comparativas entre los sistemas proponentes en competencia. Con la creación de la compañía Ibiquity, el comité se enfocará únicamente a valorar los estudios de esta empresa.

La compañía Ibiquity comenzó impulsando la unión comercial, con la idea de efectuar la transición rápida en el futuro de IBOC. Por ello, ha realizado alianzas estratégicas con diversas compañías fabricantes de equipo, entre ellas Armstrong, Harris, Andrew, Nautel, Dielectric, la electrónica continental, Energia-Onix, Orban, entre otras. Para la producción de receptores se encuentran las siguientes empresas: Kenwood, Alpinmo, Mitsubishi, Harmon Kardon, Sanyo, entre otras.

## 2.2 Descripción General

Ibiquity completó estudios sobre interferencia en las bandas de AM y FM, realizando una caracterización del canal e incontables simulaciones utilizando datos registrados sobre 75.000 horas de pruebas al aire en numerosas estaciones de radio. Usando esta investigación, Ibiquity diseñó su tecnología HD Radio para traer las ventajas de la radiodifusión sonora digital a la radio de hoy. Tratando de minimizar los problemas de interferencia de la señal analógica y de las señales de estaciones en los canales adyacentes, el sistema emplea múltiples técnicas de modulación digital, además de bandas laterales redundantes, el FAC (First Adjacent Cancellor) y combinación de codificación y potencia.

Estas nuevas señales digitales son transmitidas en bandas laterales, aprovechando las asignaciones actuales del espectro. La tecnología de IBOC combate la interferencia a través del FAC. El FAC distingue automáticamente entre la transmisión digital de banda lateral y otras señales analógicas que pudieran ser adyacentes al canal para suprimir la estación que interfiera.

El sistema de IBOC ha desarrollado una serie de capas, cada uno de las cuales realiza una operación específica. Desde el punto de vista de un radiodifusor, la capa cinco es probablemente la más importante. Ésta es la capa de la entrada del habla donde el audio se recibe, se procesa en caso de necesitarlo pasa a la capa cuatro donde se codifica para la transmisión digital. La codificación del canal contrarresta las imperfecciones normales de la transmisión de RF, que pueden incluir desvanecimientos de la señal, interferencia y ruido atmosférico.

La corrección de errores FEC agrega bits de redundancia, para transmitir la señal previniendo los errores. Las capas dos y tres realizan la multiplexación, que es la crítica al éxito del sistema de IBOC, y la capa uno determina el formato que se utilizará para la transmisión real de la señal.

Todos los sistemas de la transmisión IBOC utilizan COFDM para la porción digital de la señal. La COFDM, que es una modulación en paralelo en el cual un número de subportadoras de banda estrecha llamadas particiones se modulan simultáneamente. Estas portadoras secundarias de banda estrecha producen resistencia a la multitrayectoria, a los desvanecimientos y a la interferencia porque son transmitidas a una velocidad comparativamente y proporcionan una información comparativamente grande con respecto al tiempo que se utiliza.

El sistema de IBOC desarrollado por Ibiquity es un logro importante de ingeniería. Una enorme cantidad de diseños de ingeniería estuvo implicada en la conformación de los requisitos para determinar las máscaras permitidas por la FCC dentro de los cuales Ibiquity al principio no tuvo los resultados deseados. Las reglas de FCC requieren que todas las señales de IBOC

permanezcan dentro de las máscaras de la emisión de AM o FM de acuerdo con las reglas de la comisión

El sistema IBOC ofrece cuatro servicios básicos en una sola asignación AM o FM. El programa principal proporciona audio, el servicio personal de datos ofrece servicio misceláneo según los requisitos del usuario, el servicio de identificación de la estación es proporcionado por un tercer canal y el cuarto servicio auxiliar proporciona una amplia gama de posibilidades para usos especializados de la transmisión

### 2.3 Funcionamiento del Sistema IBOC

En los sistemas IBOC, la transmisión es colocada en banda y sobre el mismo canal, sin la necesidad de una nueva asignación de ancho de banda, dentro de una máscara permitida por la FCC, por lo tanto no se requiere de un nuevo espectro.

En cualquiera de los casos AM y FM, el esquema propuesto comprende una solución híbrida (analógica y digital) y una solución totalmente digital.

En el primer caso, una estación transmite su programa en ambos formatos analógico y digital simultáneamente dentro de su máscara asignada por la FCC, así los radioescuchas sin receptores digitales pueden también sintonizar la transmisión. Sin embargo, aquellos que cuenten con receptores digitales disfruten de mayor calidad de audio y/o servicios de datos.

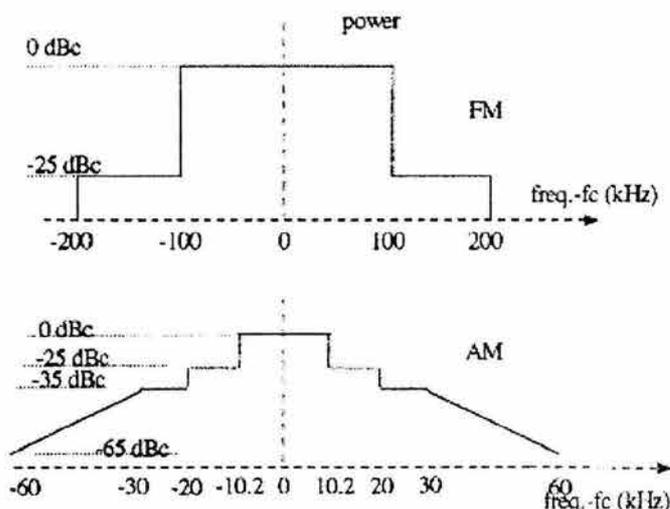


Fig. 2.1 Máscaras de Transmisión de Potencia de la FCC para las Bandas AM y FM.

Para ambas soluciones AM y FM, la modulación (OFDM) ha sido escogida como la tecnología de transmisión. Además de la corrección de errores (FEC), así que en combinación tenemos que la COFDM es utilizada para lograr una transmisión más segura. La selección de COFDM minimiza los efectos adversos de la propagación multirrayectoria y permite una división más natural del canal dentro de algunos subcanales. Por lo tanto, el programa principal de audio, el programa de respaldo de audio, los datos y el control de subcanales juntos se consolidan mucho más simples.

Debido a la partición del canal, se evitan algunas partes críticas del canal. Como por ejemplo, en AM las partes del canal que corresponden a señales de portadoras adyacentes no son utilizadas, consecuentemente evitan interferencia portadora adyacente. Además, por la selección COFDM, más información puede ser transmitida en las regiones del canal con menor interferencia que la esperada comparada con otras tecnologías

### 2.3.1 PAC

El modelo de codificación de la fuente intenta eliminar las redundancias de la señal mientras se optimiza la tasa de bit de la señal codificada. El codificador de percepción prueba dicho modelo al radioescucha, y remueve partes irrelevantes de la señal. El PAC combina ambas técnicas para proporcionar la compresión eficiente mientras se mantiene la máxima calidad en el decodificador de la señal.

El PAC proporciona un ancho de banda de 20 [Hz] a 20 [kHz]. Codifica audio monofónico y estereofónico con un factor de compresión elevado hasta 20. El PAC en esta aplicación suministra varias tasas de bit comprimidas, 16,32 y 48 [kbps], para AM permitiendo posteriormente calidad de audio estéreo como FM. En FM a 32 [kbps] el PAC es utilizado para soportar los retardos, y a 96 [kbps] proporciona la calidad de audio de un CD.

El PAC puede proporcionar una solución multitasa, en la cual la tasa del PAC crece al utilizar más canales de bits fuera de una tasa para codificar mayor información.

Esta solución es utilizada en AM entonces los 48 [kbps] pueden ser divididos dentro de tres grupos de corrimientos de 16 [kbps]. Aunque si un corrimiento es perdido en la transmisión disminuirá la calidad de audio.

El codificador PAC incluye un banco de filtros conmutado el cual dividirá la señal dentro de componentes sub-bandas. Estos componentes de señal son cuantizadas adaptivamente utilizando un intervalo cuantizado generado un umbral, este umbral es basado sobre un numero de factores. Mas allá la compresión esta funcionando sobre los coeficientes de la sub-banda vía un esquema de codificación sin ruido.

El propuesto banco de filtros conmutado incluye la Transformada del Coseno Discreto Modificado (MDCT) y un banco de filtros de onda pequeña. Esta aproximación ofrece ventajas naturales para la representación de segmentos no estacionarios de la señal y permitiendo la explotación óptima de las irrelevancias perceptibles.

### 2.3.2 IBOC AM

El objetivo en todo el sistema IBOC de AM es entregar audio digital utilizando 48 [kbps] en el algoritmo de compresión PAC, y tener una calidad de audio estéreo como FM. Sin embargo, bajo las condiciones adversas, con 16 [kbps], tenemos una calidad de audio buena comparándola con la calidad de audio común en AM. Algunas de estas condiciones adversas incluyen una fuerte interferencia del canal adyacente, la transmisión de noche y la recepción en la orilla del área de cobertura de la estación. En la banda de AM de 540-1660 [kHz], las portadoras son separadas 10 [kHz]. De manera que eviten interferencias con el segundo canal adyacente, la transmisión de la señal IBOC digital es limitada a 20 [kHz] de ancho de banda como se muestra en la figura siguiente.

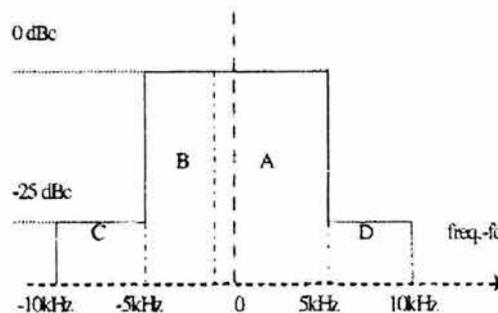


Fig. 2.2 Frecuencia Digital AM-IBOC. División de la Máscara y Ancho de Banda.

A la mitad los 10 [kHz] (+/- 5 [kHz] de la frecuencia central) tienen 25 [dB] de potencia promedio más fuerte que cualquiera de las dos bandas laterales de 5 [kHz] (de 5 a 10 [kHz] y de -5 a -10 [kHz] a partir de la frecuencia central) en ambos lados de la mitad de la banda de 10 [kHz]. El canal de 20 [kHz] es dividido virtualmente en cuatro segmentos etiquetados como A, B, C y D.

Hay un total de 53 subportadoras esparcidas en el ancho de banda de 20 [kHz] asignado a una estación, enumerados de -27 a 27. Sin embargo, las subportadoras de 54, 55 y 56 no son utilizadas de manera que se evite la interferencia con la primera portadora análoga sintonizada (estaciones adyacentes izquierda y derecha). La subportadora central es numerada con el 0, no es usada para evitar interferencias de cocanal con el IBOC analógico o híbrido especialmente en la noche cuando la interferencia es más severa en la banda de AM.

La subportadora 14 de la izquierda también es omitida no utilizándola de manera que se evita la interferencia con la primera subportadora adyacente en el IBOC digital dejando un intervalo entre las subportadoras de alta potencia de las dos estaciones adyacentes de IBOC digital. Consecuentemente no permitiendo la interferencia entre las subportadoras las cuales están transportando la información más importante de audio, es decir los segmentos A y B. Como un resultado estos segmentos son muy resistentes frente a interferencias con las primeras subportadoras adyacentes en un ambiente digital resultando una mejor cobertura global.

Cada segmento mostrado en la Fig. 2.3 porta aproximadamente 16 [kbps]. El segmento A porta los 16 [kbps] codificados y un programa de audio protegido por FEC mientras que el segmento B porta el mismo programa con un retardo (de 3 a 5 [s]) en el transmisor. Esta sección de programa retardada puede o no puede ser protegido por FEC y puede servir como respaldo en caso de que la información de audio principal no pueda ser decodificada exitosamente en el receptor.

La naturaleza del canal de AM necesita tener un respaldo. Pues las interferencias se presentan en cualquier instante, el resultado son graves desvanecimientos, que pueden ser originados por pasar debajo de los puentes o cables de alimentación.

En tales casos, ninguna cantidad de códigos FEC puede ayudar, por lo tanto, toda la información transmitida será perdida. Si estos desvanecimientos profundos no provocan más que un retardo (de 3 a 5 [s]) entonces por una combinación del subcanal principal (segmento A) al respaldo del subcanal de PAC (segmento B), los efectos del desvanecimiento son minimizados en el receptor. Esto es debido al hecho de que los datos corresponden a la misma parte del programa siendo separados de 3 a 5 [s] y consecuentemente ambos no sufrirán el mismo desvanecimiento, si el desvanecimiento no es más largo que el periodo de retardo, una vez que el subcanal principal PAC sale del desvanecimiento, el receptor regresa al PAC principal.

Cada segmento C y D porta 16 [kbps] para un total de 32 [kbps]. La combinación de estos segmentos con la información de audio PAC en el segmento A resultaría un total de 48 [kbps] con la cual el decodificador PAC en turno regresa la calidad de audio estéreo como FM. Notando que las subportadoras débiles de OFDM portan la información en los segmentos C y D entonces no puede ser decodificado en niveles de señal débil o quizás desaparecer en la presencia del primer canal adyacente que interfiere como se muestra en la Fig. 2.3, en caso de que solo un primer canal adyacente interfiera hará que solo desapareciera solo en uno de los segmentos C o D, puede ser posible decodificar el otro segmento y lograr 32 [kbps] combinado con la tasa PAC la cual es superior a la tasa de 16 [kbps]. Esta puede ser una opción de radiodifusión.

En la Fig. 2.3 se muestra el primer canal adyacente interferido por una transmisión IBOC AM digital, En La Fig. 2.4, si es interferido por una estación IBOC AM híbrida.

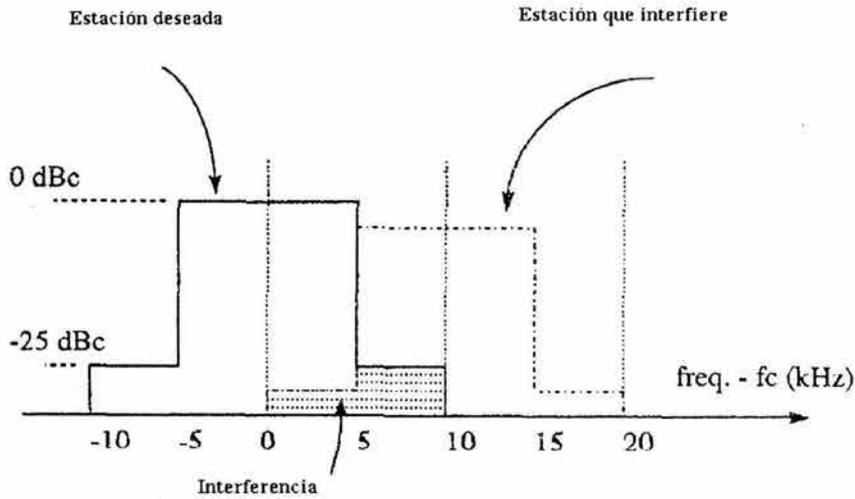


Fig. 2.3 Primer interferencia Digital Adyacente AM-IBOC en AM-IBOC Digital

Nótese que la única diferencia aquí es la presencia de algunas de las subportadoras OFDM de la estación interferida en una porción importante del canal (los segmentos A y/o B). Como la potencia de estas subportadoras es de un nivel débil en comparación con la potencia de la información del principal del espectro digital, las subportadoras OFDM deseadas pueden ser decodificadas en la presencia de tal interferencia. No importando que los dos primeros canales adyacentes estén interferidos en cada lado, un FEC para 16 [kbps] los protege y serán mantenidos intactos, principalmente referido a la diversidad de tiempo, así manteniendo una señal digital robusta aunque no en toda la tasa de 48 [kbps] de PAC.

Para el desarrollo de IBOC los resultados entre las soluciones híbridas y las digitales han sido tomadas en consideración y señaladas cuidadosamente. Por ejemplo, todos los relojes para las bandas híbridas y digitales en AM y FM son derivados del mismo cristal, los mismos módulos de la FFT son utilizados en los casos híbridos y digitales, el espacio entre las subportadoras se mantiene en forma similar, etc., por lo tanto, la implementación es más fácil y más económica.

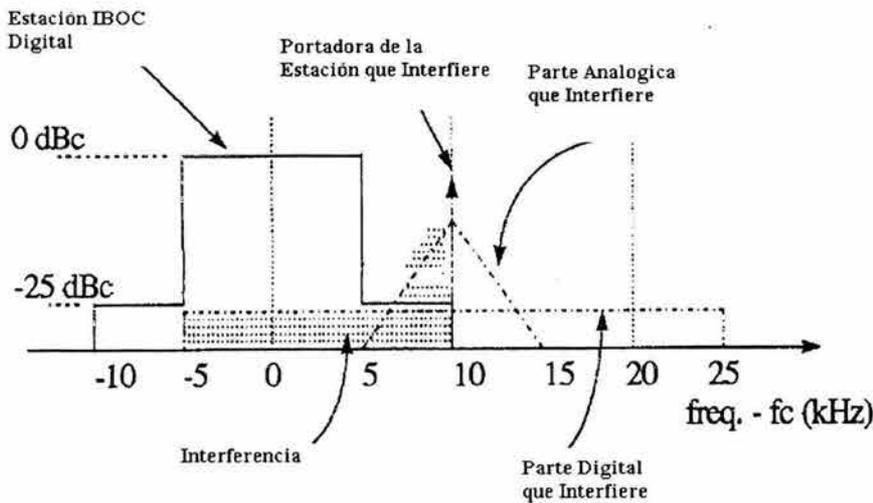


Fig. 2.4 Primer Híbrido Adyacente AM IBOC sobre una Estación Digital AM IBOC

El sistema IBOC en general y el caso de AM específicamente ha sido diseñado para permitir flexibilidad a las radiodifusoras en la transmisión

Esto significa, por ejemplo que las radiodifusoras puedan comercializar la calidad de audio por el alcance o contar con otros servicios de datos. Esto es posible en parte debido a la flexibilidad que OFDM ofrece en dividir el ancho de banda disponible dentro de subcanales. Entonces uno puede proporcionar por solo 16 [kbps], a través de un canal mínimo y dejar el resto del ancho de banda para otros propósitos.

También inherentemente PAC puede sacrificar la calidad de audio para el rendimiento de datos extras en la discreción de las radiodifusoras. Por lo que, dentro de los subcanales portadores de información PAC una radiodifusora puede escoger, portar una tasa ajustada, una tasa variable o ningún dato.

La Tabla 2.2 resume las características espectrales de la forma de onda híbrida

Banda Lateral	Rango de Subportadoras	Frecuencia Subportadoras [Hz]	Ancho de la banda lateral [Hz]	Densidad espectral de potencia [dB]	Modulación
Primaria Superior	57 <sup>a</sup> 81	10356.1 a 14716.6	4360.5	-30	64-QAM
Primaria Inferior	-57 a -81	-10356.1 a -14716.6	4360.5	-30	64-QAM
Secundaria Superior	28 a 52	5087.2 a 9447.7	4360.5	-43 o -37	16-QAM
Secundaria Inferior	-28 a -52	-5087.2 a -9447.7	4360.5	-43 o -37	16-QAM
Terciaria Superior	2 a 26	363.4 a 4723.8	4360.4		QPSK
Terciaria Inferior	-2 a -26	-363.4 a -4723.8	4360.4		QPSK
Referencia Superior	1	181.7	181.7	-26	BPSK
Referencia Inferior	-1	-181.7	181.7	-26	BPSK
IDS1 Superior	27	4905.5	181.7	-43 o -37	16-QAM
IDS2 Superior	53	9629.4	181.7	-43 o -37	16-QAM
IDS1 Inferior	-27	-4905.5	181.7	-43 o -37	16-QAM
IDS2 Inferior	-53	-9629.4	181.7	-43 o -37	16-QAM

Tabla. 2.2 IBOC AM Híbrido

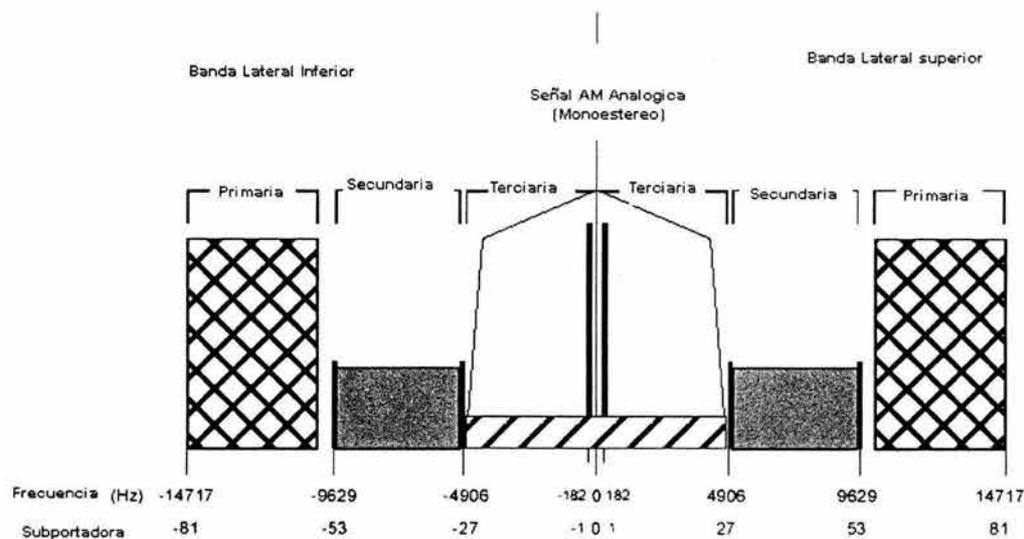


Fig. 2.5 IBOC Híbrido

La Tabla 2.3 resume las características espectrales de la forma de onda digital

Banda Lateral	Rango de Subportadoras	Frecuencia Subportadoras [Hz]	Ancho de la banda lateral [Hz]	Densidad espectral de potencia [dB]	Modulación
Primaria Superior	2 a 26	363.4 a 4723.8	4360.5	-15	64-QAM
Primaria Inferior	-2 a -26	-363.4 a -4723.8	4360.5	-15	64-QAM
Secundaria	28 a 52	5087.2 a 9447.7	4360.5	-30	64-QAM
Terciaria	-28 a -52	-5087.2 a -9447.7	4360.5	-30	64-QAM
Referencia Superior	1	181.7	181.7	-15	BPSK
Referencia Inferior	-1	-181.7	181.7	-15	BPSK
IDS1	27	4905.5	181.7	-30	16-QAM
IDS2	-27	-4905.5	181.7	-30	16-QAM

Tabla 2.3 IBOC AM Digital

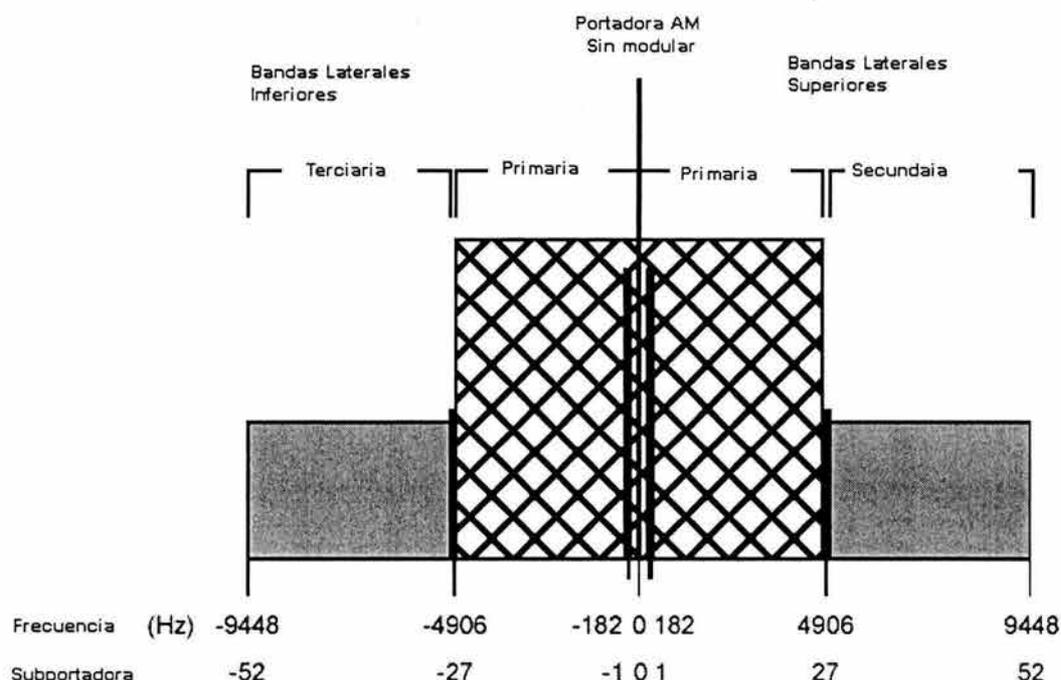


Fig.2.6 IBOC Digital

### 2.3.3 IBOC FM

Una de las diferencias principales entre IBOC y otros sistemas digitales de una portadora es el uso de las particiones de frecuencia. Cada partición consiste en 18 subportadoras de los datos y un subportadora de referencia. La manera de la cual se manejan los subportadoras depende si el sistema IBOC en uso es el híbrido, híbrido extendido o totalmente digital.

Las primeras dos formas de onda, híbrido e híbrido extendido usan una señal analógica de FM y se diferencian en el uso de la banda lateral. Mientras que como su nombre lo indica el sistema todo digital no utiliza ninguna señal analógica.

El ancho de banda de las bandas laterales de la señal digital principal es expandido y las bandas laterales secundarias de una energía más baja son insertadas en el espacio usado antes por la señal analógica.

El canal de audio analógico puede incluir estereofonía y la operación de SCA. Situadas en cada lado de la señal de audio analógica las bandas laterales principales primarias. Las bandas laterales consisten en 10 particiones, que se pueden asignar entre varias subportadoras. Dos subportadoras adicionales de referencia se incluyen en estas bandas laterales.

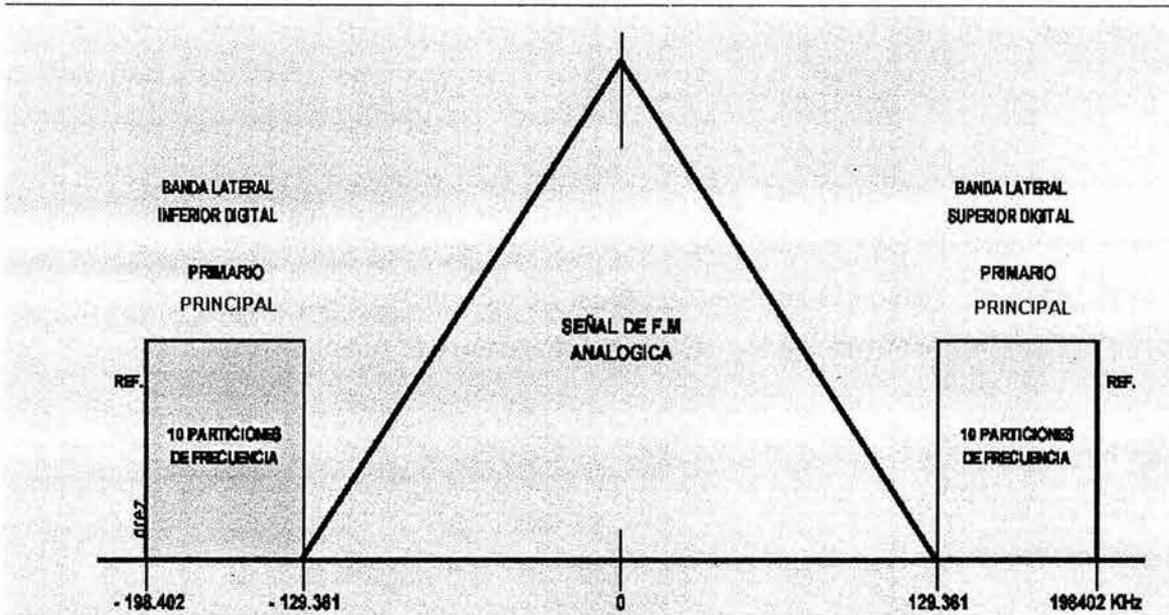


Fig. 2.7 IBOC FM Híbrido

Para funcionamiento del híbrido extendido la condición de las subportadoras COFDM es agregar a las bandas laterales primarias de la configuración híbrida normal cuatro particiones de frecuencia entre el borde de cada banda lateral principal primaria y la señal analógica. Esta se llama banda lateral extendida primaria PX. La Fig. 2.8 muestra el espectro en la condición extendida y muestra cuatro subportadoras adicionales. El ancho del canal es mayor pero aún dentro de los requisitos de la FCC.

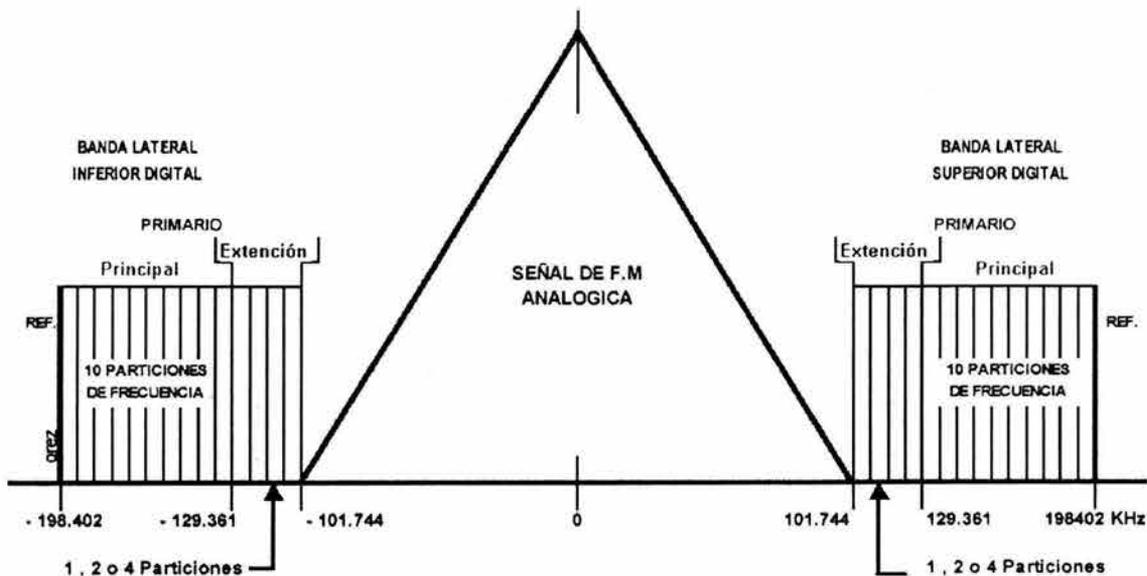


Fig.2.8 IBOC Híbrido Extendido

El modo IBOC digital produce una forma de onda compleja, inhabilitando o quitando el espacio de la señal analógica y se utiliza para insertar las bandas laterales digitales primarias y las bandas laterales secundarias de una energía más baja. Las particiones extendidas de frecuencia están presentes en esta operación. Cada banda lateral secundaria también tiene 10 particiones

principales secundarias y cuatro particiones extendidas y las particiones principales secundarias están más cerca al centro del canal

Además, cada banda lateral secundaria tiene un área pequeña, protegida localizada donde hay menos probabilidad de interferencia de señales analógicas o digitales adyacentes. En esta área están 12 subportadoras de OFDM y una subportadora de referencia. El centro del canal lleva una subportadora más de referencia. El espectro del canal que resulta es simétrico con varias subportadoras de referencia disponibles para asegurar una correcta decodificación en el receptor.

El ancho de frecuencias del espectro completo es 3.96803 [MHz]. La energía media total de una subportadora digital primaria es por lo menos 10 [dB] sobre la energía total del subportadora digital primaria híbrida.

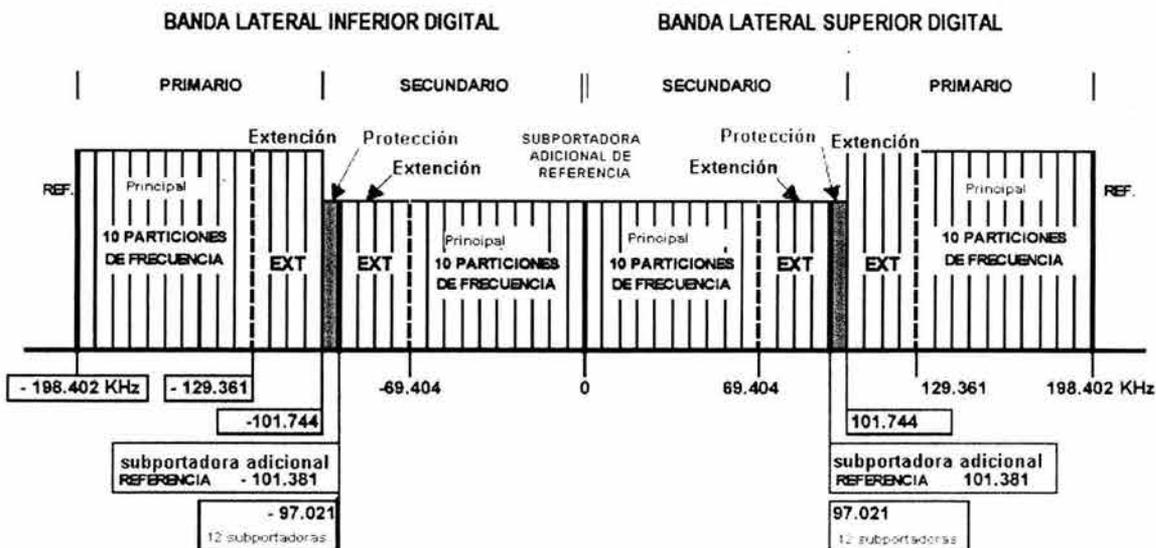


Fig. 2.9 IBOC Digital

El objetivo en el sistema digital de IBOC FM es entregar 96 [kbps] PAC (calidad de audio CD) al público con un subcanal de datos opcionalmente. En la banda de FM 88 – 108 [MHz], las portadoras son separadas 200 [kHz] de acuerdo a la máscara por la FCC, las subportadoras OFDM son difundidas uniformemente a través del canal con una potencia igual excepto por las subbandas de banda lateral opcionales en las dos bandas laterales de 100 [kHz] las cuales son por lo menos debilitadas 25 [dB].

Hay un total de 546 subportadoras en el caso de FM, enumeradas de -273 a 273, sin embargo, la subportadora 137 no se utiliza para evitar en el IBOC FM digital la primera interferencia adyacente. La ausencia de esta subportadora dejará un intervalo entre las señales de las primeras estaciones adyacentes (para ambas la primera adyacente alta y/o baja) así que no habrá interferencia causada una sobre la otra. La subportadora 0 (i.e. la primera que corresponda a la frecuencia central) no es utilizada y en lugar es transmitido un sonido piloto para la adquisición más fácil de la portadora. Estas subportadoras son divididas en subgrupos (formando subcanales) para la información de audio de PAC y los datos transmitidos.

Todo la programación de audio es transmitida dentro de un ancho de banda de 200 [kHz] alrededor de la frecuencia central. Las subportadoras a la derecha (54% del total) son utilizadas para el programa principal PAC y las subportadoras a la izquierda (18% del total) son utilizadas para una replica del retardo transmitido del mismo programa codificado con 32 [kbps] de PAC para propósitos de respaldo. La separación en la frecuencia entre el PAC principal y el PAC de respaldo mantiene inmunidad contra los desvanecimientos selectivos de frecuencia. El respaldo de la tasa

más baja en PAC es utilizada como una alternativa de diversidad de tiempo para mezclarse cuando la calidad de la señal principal falla de manera similar que el caso de AM. El resto del canal es utilizado para transmitir datos que son especificados por la radiodifusora, todos los subcanales, transmiten el programa principal, el programa de respaldo y los datos FEC que son protegidos por un receptor con un funcionamiento más robusto.

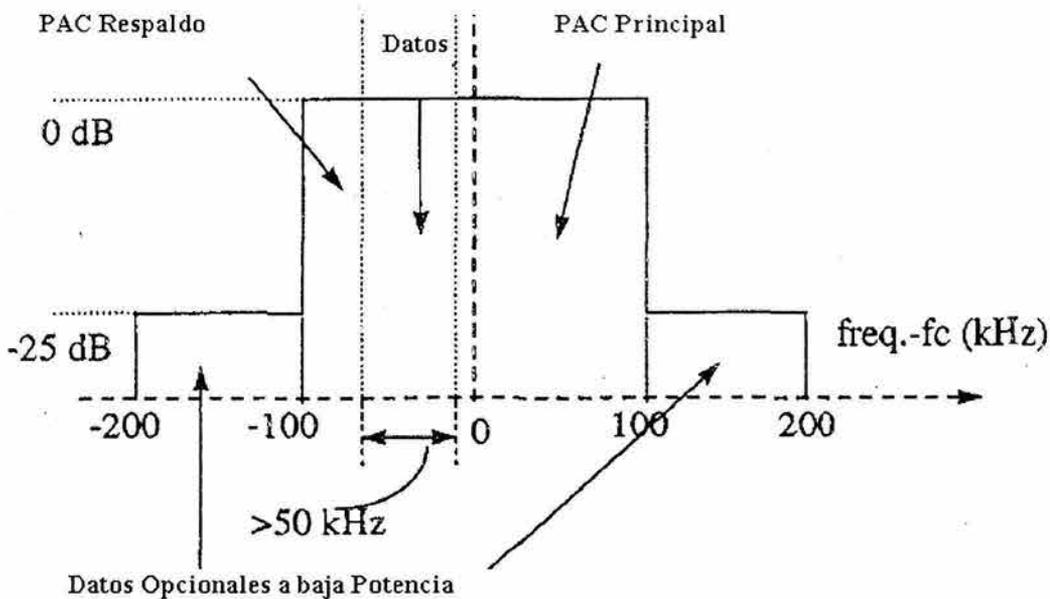


Fig. 2. 10. Máscara y Ancho de Banda de FM IBOC Digital.

Nótese que se tiene una diversidad de tiempo debido al retardo redundante del programa de transmisión. También la diversidad de frecuencia es lograda transmitiendo los programas principal y de respaldo en las dos posibles partes más lejanas del canal como se evidencia en la Fig. 2.10, esta separación en frecuencia (cerca de 50 [kHz]) causa desvanecimientos selectivos debido al medio relativo que difunde largos retardos (en orden de muy pocos microsegundos) para ser independiente en los subcanales principal y de respaldo de PAC. Esto es provechoso en FM porque en este caso, los desvanecimientos selectivos de frecuencia son posibles en la presencia de multitrayectorías. Así, un desvanecimiento puede golpear algunas de las subportadoras que transmiten el programa principal mientras que las subportadoras del programa de respaldo no son afectadas por el mismo desvanecimiento o viceversa.

En el caso de que un retardo corto, los desvanecimientos son en su mayoría aplastados o los insignificantes no son tan graves comparados con el caso de la difusión de retardo más largos así la medida de diversidad de frecuencia no es necesaria.

Como todo el audio y datos son transmitidos dentro los 200 [kHz] alrededor de la frecuencia central no hay interferencia posible sobre una estación digital adyacente IBOC FM. Una señal de una estación analógica adyacente de FM interferiría con la señal de la estación deseada; pero, como los transmisores están siguiendo la máscara por la FCC esta interferencia es 25 [dB] más débil que la señal digital deseada y no causará problemas significativos en la decodificación de datos. Lo mismo es cierto para una estación adyacente híbrida analógica /digital. La Fig. 2.11 muestra a la derecha de la estación digital deseada IBOC FM una estación analógica y a la izquierda una estación híbrida analógica/digital.

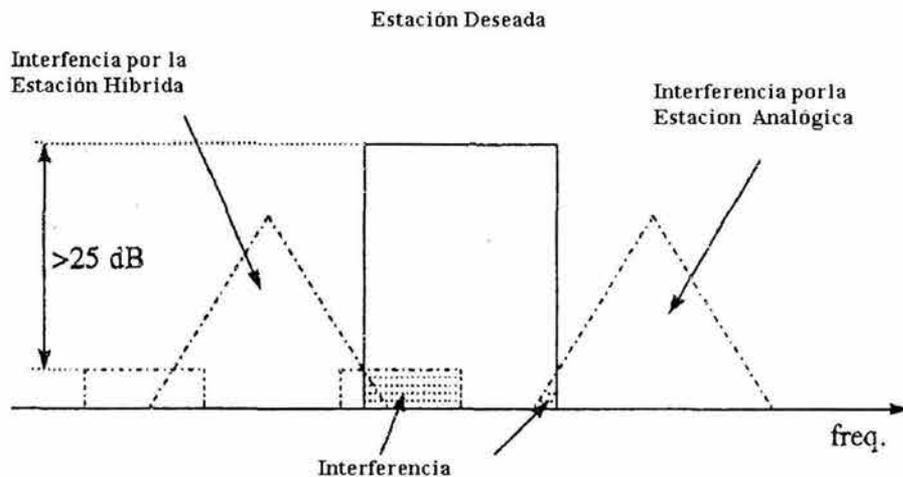


Fig. 2. 11 Interferencia Analógica e Híbrida en una Estación Digital de IBOC FM

Las dos bandas laterales 100 [kHz] permitidas en la máscara por la FCC que van mas allá del canal principal 200 [kHz] dentro de las dos estaciones vecinas, con una potencia muy reducida pueden ser utilizadas para portar más servicios de datos opcionales o mantener una recepción de audio multicanal, ejemplo recepción de sonido surround. Sin embargo, cualquier información transmitida en esta región no podrá tener la misma cobertura que la transmitida en la banda principal 200 [kHz] porque las subportadoras son mucho más débiles. También, esta información será perdida en presencia de las interferencias adyacentes.

Cabe mencionar que con IBOC FM digital todos los escenarios adyacentes posibles tendrán la posibilidad de manejar el audio principal y de respaldo, como los canales de datos con señal suficiente para que la razón de interferencia sea la adecuada para recepción robusta especialmente para lograr medidas de protección FEC.

Igualmente que en el caso de AM, las radiodifusoras FM tienen la flexibilidad para utilizar el ancho de banda. Por ejemplo, la parte de datos del canal puede ser utilizada para realzar el audio PAC a la calidad de sonido surround. O simplemente sacrificar la calidad de audio para mayor capacidad de datos o viceversa.

### 3 Sistema DRM (Digital Radio Mondiale)

#### 3.1 Introducción

DRM es un sistema que promete dar un cambio el uso de las bandas para radiodifusión debajo de 30 [MHz]. Ofrece una mejora dramática en calidad audio, no solamente mejorando el ancho de banda para el audio y el cociente señal a ruido, también disminuyendo los problemas por efectos de desvanecimiento selectivo y de interferencias audibles de otras estaciones. También se diseña para apoyar varias características que harán la operación del receptor más sencilla.

Las bandas de AM son muy útiles a los radiodifusores porque los modos de la propagación utilizados dan cobertura y elasticidad a las áreas grandes y alejadas, el último punto estimable para la difusión internacional. Así mismo, un sistema con tales principios, solo necesita un receptor muy simple.

Sin embargo, los oyentes de radio se están sofisticando, y requieren mayor calidad así como hospitalidad en la información que llega a estar disponible para ellos a toda hora. La radio AM del

presente no puede competir con la calidad de sonido de la radio de FM, ni con formatos de audio grabados, así que los oyentes tienen cada vez más incentivos para abandonar la radio de AM.

Así pues, la difusión en las bandas de AM debe desarrollarse para resolver las nuevas circunstancias. Hay razones muy buenas para conservar estas bandas debido a los tipos de cobertura que, pueden proporcionar. Pero es necesario mejorar la calidad audio, y de hecho la información entera para una buena experiencia, es decir, para ser más amistoso a los radioescuchas.

La manera de alcanzar esto es aplicar técnicas de proceso digitales, apenas como se ha hecho con otras bandas y otros medios. Esto ha sido realizado por los esfuerzos de muchas organizaciones dentro del consorcio Digital Radio Mondiale (DRM). El sistema que han desarrollado ha sido reconocido ya por la ITU en un proyecto de recomendaciones para un estándar para la difusión digital debajo de 30 [MHz].

Este avance tecnológico ofrecerá nuevas posibilidades de radiodifusión sonora de calidad en onda larga, media y corta. Con las bandas FM prácticamente congestionadas y la mala calidad de la difusión Amplitud Modulada (AM), la radiodifusión AM digital tiene numerosas ventajas para los radiodifusores que tratan de recuperar una parte del mercado. Para los consumidores, esta decisión significa programas adicionales con calidad similar a FM en receptores de bajo costo y de fácil utilización.

Como se utilizarán las mismas bandas de frecuencias en los mismos canales y los receptores seguirán siendo los mismos (fijos, portátiles e instalados en vehículos), el cambio al nuevo sistema será totalmente transparente. Lo que si se notará en cambio, es la calidad mejorada con una recepción nítida, un contenido de programas más diversificado gracias a la mayor capacidad generada en las bandas AM existentes y una mayor riqueza de contenido gracias a la tecnología digital.

### 3.2 Evolución DRM

DRM emergió de una reunión informal en París en septiembre de 1996 entre algunos de los más importantes radiodifusores internacionales y fabricantes de equipos de radiodifusión. Entre ellos se incluían representantes de Radio France Internationale, TeleDiffusion de France, Deutsche Welle, Voice of America y Thomcast. En noviembre de ese año se llevó a cabo una reunión de mayor alcance. A ella concurrió un grupo más amplio de interesados, incluyendo radiodifusores nacionales e internacionales de AM y operadores de cadenas, académicos, centros de investigación, fabricantes de transmisores y receptores, y organizaciones encargadas del desarrollo de la tecnología de AM Digital. La reunión convino en la necesidad de crear un grupo con la tarea de establecer los cometidos y estructura de una organización formal a ser denominada Digital Radio Mondiale (DRM). La organización estaría compuesta de radiodifusores, desarrolladores de sistemas de comunicaciones y los fabricantes de electrónica.

DRM tiene previsto introducir un único sistema mundial de transmisión digital en las bandas de radiodifusión sonora por debajo de 30 [MHz] dicho sistema constituiría una norma tanto para el UIT-R como para la ISO. A principios de 2001, el sistema DRM se convirtió en una norma ETSI. En abril de 2001, el sistema DRM entró a formar parte de la Recomendación UIT-R BS.1514 para la radiodifusión sonora digital en bandas por debajo de 30 [MHz]. En marzo de 2002, el sistema DRM fue apoyado por la Comisión Electrotécnica Internacional (CIE) que publicó su especificación disponible al público de este sistema (PAS 62272-1).

### 3.3 Algunas características del DRM

#### ➤ Mejor Calidad de audio que la actual AM

La limitación más obvia de la calidad presente en AM es el ancho de banda. Además de esto se deteriora por los efectos de desvanecimiento selectivo y la interferencia por multirayectorias, del

canal y de los canales adyacentes además de la interferencia de fuentes artificiales y naturales. DRM propone una mejor calidad de audio en AM con el uso de las técnicas de procesamiento digital. Y así podrá competir con otras estaciones de FM, mejorando en la calidad con la cobertura actual. La calidad de los programas sonoros será muy superior. Las mejoras en la compresión se realizarán en el extremo transmisor para no tener que modificar los receptores de la primera generación

➤ **Flexibilidad**

La señal de DRM debe caber dentro de los actuales arreglos en las bandas de AM, pero con flexibilidad de permitir la explotación de los cambios posibles que pueden ocurrir durante la vida del estándar. En principio habrá una coexistencia en modo simulcast con la transmisión analógica dentro de un único canal. Más adelante, el canal se utilizará exclusivamente para la transmisión digital, que será de superior calidad. Sin embargo, la transmisión analógica no dejará de existir totalmente sino que continuará con algunos canales dedicados exclusivamente al parque de receptores analógicos. Esta fase ha sido denominada "Multicast".

Hay varias "modalidades" para satisfacer las necesidades de las entidades de radiodifusión. Por ejemplo, más canales menos seguros y de inferior calidad o menos canales más seguros y de superior calidad, o cualquier combinación de los anteriores.

Utilización de un solo sistema mundial por debajo de 30 [MHz], no patentado para la radiodifusión y la información digital, y para la radiodifusión de datos. El mismo receptor digital DRM funcionará en cualquier parte del mundo con independencia de su origen.

➤ **Cambio Paulatino**

El cambio de AM a DRM será claramente un proceso lento, con muchos transmisores y receptores existentes en el lugar, en el mismo tiempo, y en las mismas bandas. Así pues, para que el cambio sea posible, debemos asegurarnos que cualquier estación se pueda convertir a DRM, sin ser afectada por sus vecinos existentes (geográficos y espectro). Este requisito implica no sólo respetar el ancho de banda de RF, sino que también que los cocientes de la protección (AM-DRM, DRM-AM y DRM-DRM) y el cociente necesario de portadora-a-ruido deben ser compatibles para relacionarlos.

Esto implica no cambiar los hábitos de los radioescuchas existentes: mismas frecuencias, mismas condiciones (radio fija, portátil y móvil) mismo ambiente (interior de la casa, en ciudades, etc.)

➤ **Recepción con los transmisores ya existentes**

Hay una amplia gama de transmisores de AM en servicio. La mayoría utiliza alguna variación de modulación de alto nivel, donde la amplitud de la señal de RF es modulada dependiendo de la variación que esta tenga. Utilizando amplificador no lineal del RF (comúnmente la clase C)

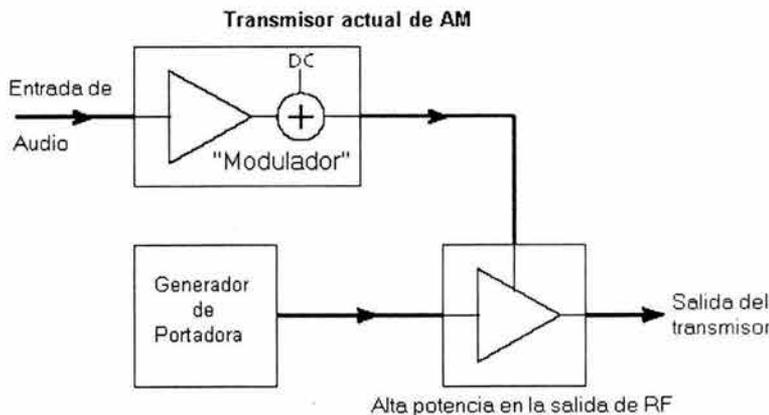


Fig.3-1 Transmisor de AM

Una señal modulada digitalmente se puede considerar como una señal de AM modulada en fase (de amplitud constante), alternadamente también modulada en amplitud. La señal puede ser pasada de contrabando en una estructura transmisor AM, separando la señal en sus componentes de AM y de PM. La señal de AM toma simplemente el lugar de la entrada audio anterior de la modulación, mientras que la entrada de la portadora (derivada normalmente del sintetizador o de la otra fuente estable frecuencia) es substituida por la señal modulada en fase de RF. El ancho de banda de la señal AM en este arreglo es mayor que la de la señal audio para la que fue diseñada. En algunos casos el modulador tendría que ser substituido para alcanzar esto, mientras que en otros puede suficiente modificar un filtro.

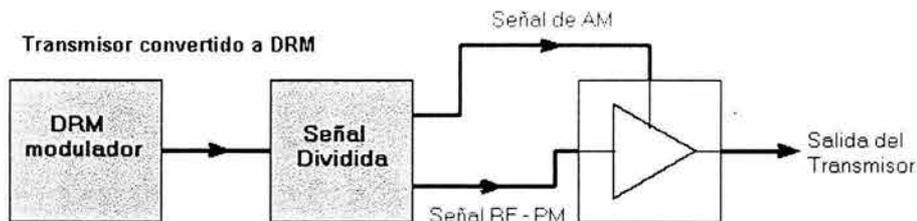


Fig.3.2 Adición de un Modulador Digital al Transmisor de AM

➤ **Características digitales.**

Contenido programático más diverso, usando las capacidades completas de las nuevas características digitales. Radios que podrán suministrar los programas con información de texto asociada, nombre de la emisora, título de la grabación, nombre del cantante. Oportunidades para la utilización de servicios de valor agregado tales como servicios de datos, texto y otros.

El sistema podrá transmitir sonido y/o datos (PAD, información de servicio, multimedia y/o varios servicios de datos). Todos estos componentes de programa serán acomodados automáticamente y convenientemente por los diversos receptores y clases de receptores. Los datos y la información se estructurarán de modo tal que será posible su transmisión, recepción y presentación.

➤ **Dará longevidad a antiguas tecnologías de AM.**

Aumento del mercado potencial para sistemas de trasmisión y recepción. Optimizar el retorno de inversión para componentes de tecnología dual para sistemas de baja velocidad de trasmisión aplicados a canales de trasmisión de banda angosta. Oportunidad para influenciar efectivamente en el costo del diseño de sistemas futuros para radio en AM. Posibilidad de reemplazar 2.5 mil millones de receptores con aparatos de AM digital. Uso continuado de los sistemas actualmente existentes de trasmisión.

➤ **Uso SFN**

Las SFN son utilizadas en la radiodifusión sonora AM, para las redes de LF/MF (para la cobertura nacional) con ellas tienen un uso eficiente del espectro pero se sacrifica en calidad de recepción pues esta se distorsiona en áreas del desplome en los lugares (entre los transmisores) donde las señales similares en potencia se reciben a partir del dos de los transmisores. Por esta razón, los planificadores intentan arreglar para que las áreas del desplome bajen en áreas de la población baja un constreñimiento serio del planeamiento.

Diseñar el sistema de DRM para apoyar las SFN traería consigo que las redes que utilizan actualmente dos o más frecuencias (porque los problemas del área de desplome de una SFN serían demasiado grandes con AM) se podrían convertir a la operación de SFN, además de las SFN existentes.

Podría también haber una ventaja en el HF, donde SFN se utiliza a veces para la difusión internacional con riesgo, mientras que AM utiliza gran área de cobertura que se convierte en un área del desplome

➤ **Un servicio amistoso**

El radioescucha elige escuchar una estación o un servicio particular, pero actualmente éste con el conocimiento detallado las necesidades de la recepción de la de la banda y de la frecuencia cuál puede cambiar con tiempo. La banda y la frecuencia son cosas de interés intrínseco y un receptor de DRM debe aislar en gran parte al oyente de tener que tratar de ellas. Los datos convenientes transmitidos junto con la señal pueden decir al oyente (vía la exhibición, el cascabeleo, el sintetizador de discurso) cuáles es la estación y decir al receptor cómo encontrarla otra vez, siguiendo cualquier cambio programado en frecuencia, así como aconsejar qué frecuencias alternativas pueden estar disponibles. Es también posible dar una cierta información sobre los programas futuros y su sincronización.

A la vista de las citadas características, DRM propone utilizar los dos canales analógicos actuales, 9 [kHz] (2 x 4.5 [kHz]) y 10 [kHz] (2 x 5 [kHz]) para la transmisión DRM en la etapa inicial. En la modalidad "simulcast", el canal analógico se colocará en el centro entre dos bandas de 4.5 [kHz] o 5 [kHz] de canales digitales. El nivel de la portadora analógica estará 30 [dB] por encima de la portadora digital. Sin embargo, el ancho de banda total para dicha transmisión simulcast será de 15 [kHz] aproximadamente y necesitará una nueva redistribución y coordinación de los canales de ondas decamétricas.

### 3.4 Funcionamiento General

DRM como todo sistema de comunicaciones requiere de ciertos procesos para el manejo de las señales entre los puntos más importantes a destacar esta:

- Codificación de fuente.
- Modulación y codificación de canal
- Multiplexación

#### 3.4.1 Codificación de la fuente

Mantener el espacio en los canales existentes en las bandas de AM ha sido uno de los requisitos importantes en el desarrollo del sistema DRM. Acorde a esto, el espectro disponible para un canal de transmisión es 9 ó 10 [kHz]. Aunque hay avances muy importantes en la modulación y la codificación de canal, los métodos utilizados permiten solamente una eficiencia espectral de 2 y 3 [bit/Hz]. Esto permite una velocidad de transmisión en la codificación de la fuente entre de 18 y 30 [kbps]. Por lo tanto, la selección del método de codificación de audio es esencial para alcanzar una alta calidad audio bajo tales condiciones.

El funcionamiento sin precedente de CT-aacPlus permite al sistema de DRM entregar una muy alta calidad en las bandas de AM. En un canal de transmisión monoestéreo se pueden obtener buenos resultados e incluso en transmisiones estéreo.

El conjunto de dos canales de transmisión lo cuál puede ser posible en el futuro, si la situación reguladora lo permite, daría lugar a tasas de bits de alrededor de 40 a 48 [kbps], que preverían los programas estéreos de alta calidad usando CT-aacPlus. Para los casos especiales por ejemplo transmisiones simulcast de analógico/digital o transmisiones multi-idioma la velocidad de codificación de transmisión de tasas más bajas de AAC o del habla puede ser utilizada.

Para velocidades de transmisión ultra-bajas como las del habla, muy probablemente en paralelo a un programa audio normal Los 2 [kbps] del codificador de discurso HVXC puede ser utilizados. La

combinación de los codificadores de discurso con SBR también es probable. El sistema de DRM utilizaría MPEG-4 AAC para aumentar la robustez en casos donde hay transmisión de errores.

## CT-aacPlus

CT-aacPlus es una combinación de la tecnología Spectral Band Replication (SBR), una herramienta de extensión para ancho de banda desarrollada por Coding Technologies (CT) en Alemania. Con la tecnología MPEG Advanced Audio Coding (AAC) que hasta la fecha, ha sido uno de los esquemas basados en la percepción, tradicionalmente más eficiente para la codificación de audio. CT-aacPlus puede entregar las señales audio de alta calidad en tasa de bit por debajo de 24 [kbps] para monoestéreo y de 48 [kbps] para las señales estéreas.

La tecnología de SBR es el último desarrollo de la investigación de codificación de audio y se puede combinar con casi cada esquema tradicional de codificación de audio. Una mejora en eficacia de velocidad de transmisión de bits de por lo menos el 30% puede ser alcanzada. La combinación de los esquemas de codificación se puede hacer de una manera compatible, así permitiendo la mejora de los sistemas existentes basados en codificadores audio tradicionales.

La investigación en la codificación de audio sobre codificadores basados en la percepción comenzó hace aproximadamente 20 años. La investigación sobre el sistema auditivo humano reveló que lo que escuchamos está basado principalmente en un análisis espectral a corto plazo de la señal audio. El efecto de enmascaramiento supuesto fue observado: el sistema auditivo humano no puede percibir las distorsiones que se enmascaran cerca de una señal más fuerte en la vecindad espectral. Así, al analizar el espectro a corto plazo, un umbral de enmascaramiento supuesto se puede calcular para este espectro. Las distorsiones debajo de este umbral son en el caso ideal inaudibles. La investigación entonces se dirigió a calcular el umbral de enmascaramiento (modelo psicoacústico) y en cómo procesar la señal audio de una manera tal que solamente la información audible resida en la señal. Idealmente, un codificador de audio aplica una compresión tal que la distorsión introducida está exactamente debajo del umbral de enmascaramiento.

Esta investigación condujo hoy a los bien conocidos codificadores basados en la percepción; por ejemplo, MPEG capa II, Dolby Ac-3, MP3, Sony Atrac, Lucent PAC y MPEG AAC. Todos estos se basan en el mismo principio, según lo mostrado en la siguiente figura.

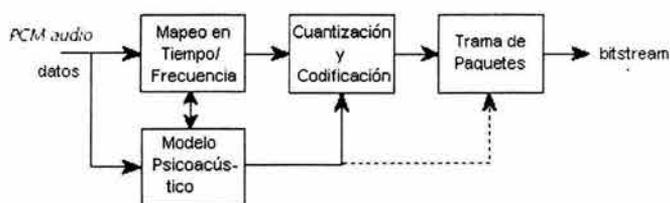


Fig. 3-3 Modelo Tradicional

La señal de audio se transforma en el dominio de la frecuencia por medio de un banco de filtro o se transforma bloque-por-bloque. El espectro a corto plazo que resulta es cuantizado de una manera tal que el umbral de enmascaramiento calculado por el modelo psicoacústico no se viole. El espectro cuantizado consigue ser codificado y empaquetado. El decodificador realiza los pasos de procesamiento de la señal contrarios pero generalmente no contiene un modelo psicoacústico.

Aunque los codificadores basados en la percepción alcanzan ya una compresión significativa, la eficacia todavía no era satisfactoria a las necesidades de los sistemas para las líneas telefónicas analógicas/digitales. La Fig. 3.4 ilustra qué sucede si la tasa de compresión se aumenta más a fondo de tal codificador: la distorsión introducida por el codificador viola el umbral de enmascaramiento y produce efectos audibles. El método principal de superar este problema en un codificador basado

en la percepción es limitar el ancho de banda del audio. Por consiguiente, más información está disponible para el resto del espectro, dando por resultado un limpio pero con un sonido hueco. Otro método, llamado estereofonía de la intensidad, se puede utilizar solamente para las señales estéreo. En estereofonía de la intensidad, solamente un canal y una cierta información se transmite, en lugar del canal izquierdo o derecho. Sin embargo, esto está solamente en uso limitado para el aumento de la eficacia de la compresión, pues en muchos casos la imagen estéreo de la señal audio consigue ser destruida.

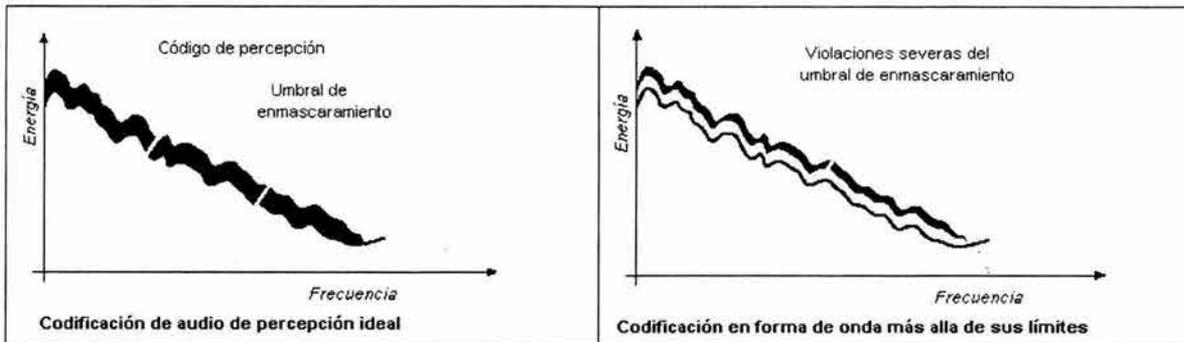


Fig. 3.4 Violación del Umbral de Enmascarado

## SBR

SBR es el resultado de los últimos logros de la investigación en la codificación de audio, que revela que las frecuencia altas en señal de audio se pueden representar mucho más eficientemente que antes. El efecto principal usado, es la alta correlación entre el contenido de las bajas y altas frecuencia en una señal audio. En el sistema de codificación SBR, la codificación audio basada en la percepción se utiliza solamente para codificar las frecuencias más bajas de una señal audio. Estas frecuencias bajas se utilizan para reconstruir las frecuencias altas en el decodificador.

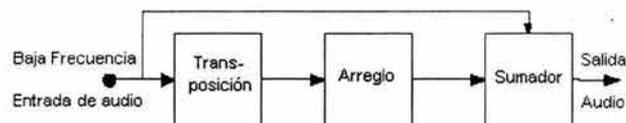


Fig. 3.5 Regeneración de las Frecuencias Altas

Esto es realizado por métodos de transposición avanzados. El contenido de las alta frecuencias es reconstruido sufriendo ciertos ajustes en el dominio de tiempo y frecuencia antes de que se combine con la parte de frecuencias bajas de la señal audio.

La Fig.3.6 muestra la integración del codificador de AAC con tecnología de SBR. La codificación de SBR se procesa antes de la codificación de AAC. La señal de entrada al codificador de AAC es de banda limitada, pues las frecuencias altas serán reconstruidas por el algoritmo de SBR. Una cierta información adicional, será necesitada por el decodificador de SBR para reconstruir la parte de frecuencias altas, por lo tanto se multiplexa con la señal codificada.

En el lado del decodificador, la salida de baja frecuencia del decodificador de AAC se alimenta en la unidad de SBR, que reconstruye las altas frecuencias y produce una señal del audio con el ancho de banda total.

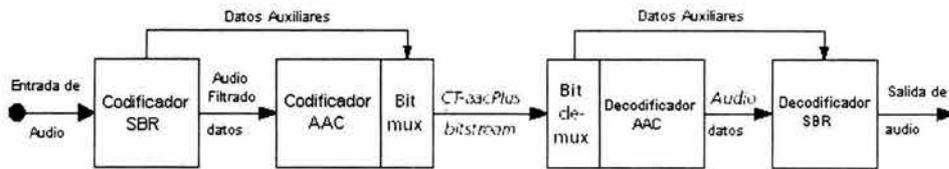


Fig.3.6 Sistema de codificación CT-accPlus

CT-accPlus proporciona una eficacia mucho más alta de compresión que AAC independiente, porque la parte de AAC en CT-accPlus se utiliza solamente para codificar el contenido de bajas frecuencia de la señal. Como las necesidades de información de SBR solamente tienen una cantidad muy pequeña de datos, el codificador de AAC puede utilizar mucho más información para codificar el contenido de bajas frecuencias (Fig. 3.7). Así el umbral de enmascarado no se viola. SBR reconstruye la alta frecuencia y combina ambas piezas para obtener una señal audio de ancho de banda completa (Fig. 3.7). La señal que resulta consiste en dos componentes, la parte de AAC y la parte de SBR. El formato de la señal puede ser diseñado de una manera tal que el decodificador de AAC pueda decodificar solo la parte que le corresponde.

Aunque la señal audio que resulta es de un ancho de banda limitado, esta característica se puede utilizar para introducir SBR en los sistemas existentes que utilizan codificadores de audio perceptivos tradicionales. La tecnología de SBR se puede utilizar junto con todos los codificadores de audio que produzcan una señal limpia de frecuencias bajas.

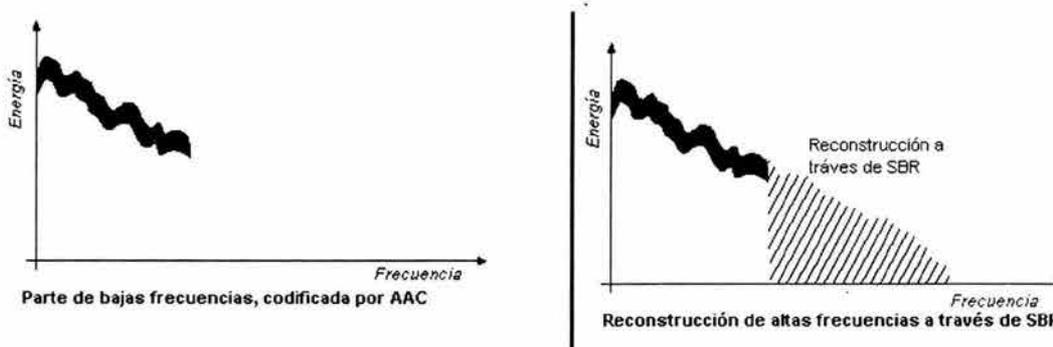


Fig. 3.7 Reconstrucción de Frecuencias

La técnica SBR sintetiza los sonidos los cuales caen dentro de la octava más alta. Los sonidos en este rango están usualmente en cualquiera de los siguientes campos:

- a) Como ruido (silbidos, instrumentos de percusión tales como trinos, platillos, etc), o
- b) Tonos de instrumento o sonidos de voces( parte baja del espectro ).

En el transmisor, la banda de frecuencia más alta de la señal de audio es examinada para determinar la distribución espectral y si falla la categoría (a) o (b) arriba mostrada. Una pequeña cantidad de la información es entonces preparada para la transmisión para ayudar al decodificador. La banda de frecuencia más alta entonces es eliminada antes de que la banda principal faltante de la señal de audio sea pasada al codificador AAC, el cual la codifica en forma convencional.

En el receptor, primero el decodificador AAC decodifica la banda principal de la señal de audio. El decodificador SBR entonces aumenta la banda superior sintética, ayudado por las instrucciones enviadas adicionales a la información. Los sobretonos son derivados desde la salida del

decodificador AAC, mientras los sonidos como ruidos son sintetizados utilizando un generador de ruido con una forma espectral conveniente.

La posibilidad de la operación estéreo es prevista, aunque solo sería razonable cuando fuera posible utilizar una doble anchura de canal de 18 ó 20 [kHz].

### Comparación entre los codificadores SBR mejorados y los tradicionales

Durante la selección del algoritmo de codificación de la fuente, el consorcio DRM condujo varias pruebas respecto a la capacidad de oír las señales. La Fig.3.8 muestra los resultados de una prueba que realizó la BBC, comparando AAC con AAC + SBR en 24 [kbps] monoestéreo. La prueba fue conducida usando el método de prueba MUSHRA para la comparación de las pruebas. La prueba de MUSHRA contiene varias señales principales, con versiones limitadas a un ancho de banda (3.5 [kHz] y 7 [kHz]) de la señal original, así como la señal original si misma. Estas señales aumentan la confiabilidad de los resultados de la prueba. En la escala de MUSHRA, 100 representa la señal original.

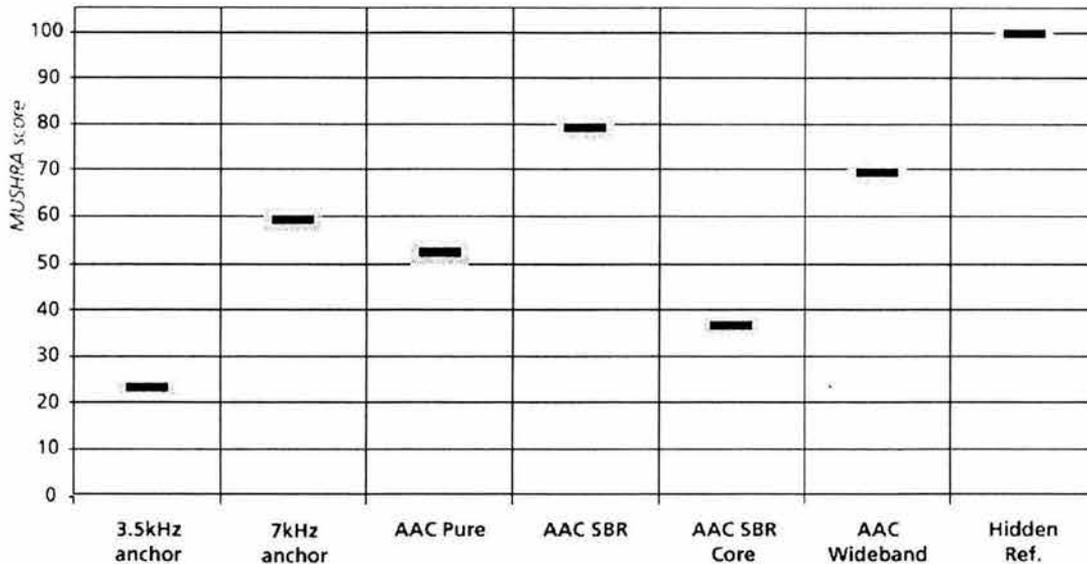


Fig. 3.8 Pruebas de DRM Comparando AAC y CT-aacPlus a 24 [kbps] Monoestéreo

Las pruebas de MUSHRA realizadas por la BBC incluyeron las siguientes señales:

- Señales de 3.5 [kHz] y 7 [kHz];
- AAC Pura ( MPEG-4 AAC en 24 [kbps])
- AAC SBR ( CT-aacPlus en 24 [kbps])
- AAC SBR (La parte AAC de la señal de CT-aacPlus a 24 [kbps])
- AAC de banda ancha ( MPEG-4 AAC en 32 [kbps])
- Referencia oculta (La señal original sin ancho de banda limitado)

Los resultados muestran claramente la eficacia más alta de la codificación de CT-aacPlus cuando están comparados a AAC. CT-aacPlus, en 24 [kbps], rindió en más del 30% en comparación con AAC en 32 [kbps]. Otra prueba de comparación, esta vez usando varios codificadores disponibles comercialmente, ha sido realizada por el EBU. Los primeros resultados fueron mostrados en una

conferencia reciente de AES en el Reino Unido. La Fig.3.9 muestra el resultado de esta prueba de MUSHRA, donde MP3Pro y CT-aac-Plus fueron comparados con MP3, AAC, WMA 8,0 y audio real con estereofonía de 48 [kbps]. La prueba del EBU se puede interpretar como sigue: la referencia ocultada consigue calificar debajo de 100, indicando que algunos oyentes no podrían distinguir entre esta y una versión codificada muy buena (muy probablemente con el codificador de CT-aacPlus) para algunos artículos. CT-aacPlus tiene buenos resultados y se califica como malo cuando esta alrededor de 88. Está después MP3Pro, seguido por MPEG-4 AAC. Debajo están RealAudio8 (v8.5), Windows Media(WMA) 8.5 y MP3. Los resultados son una verificación del funcionamiento excepcional de los codificadores mejorados de SBR, MP3Pro y CT-aacPlus.

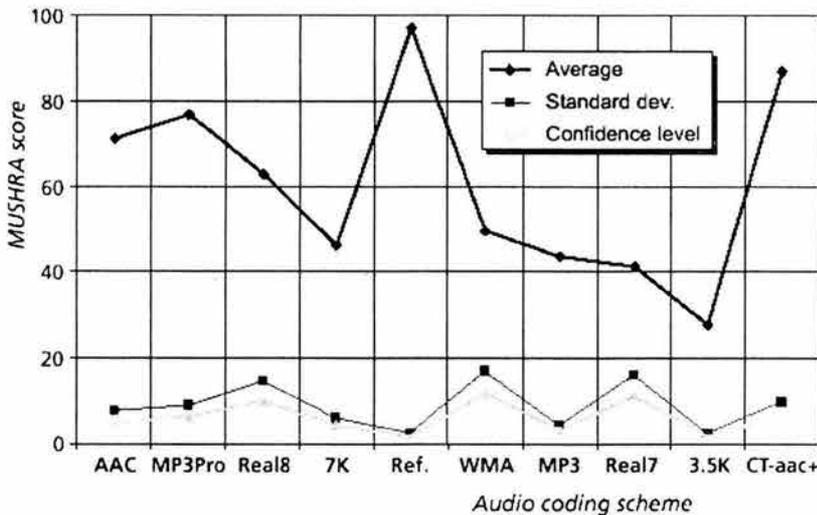


Fig. 3.9 Prueba EBU a 48 [kbps] Estéreo

### 3.4.2 Codificación de Canal y Modulación.

Una vez que la propagación de ondas de cielo dentro de una SFN, hay una clara necesidad para enfrentar los desvanecimientos por propagación multitrayectoria. Los retardos pueden ser de varios milisegundos. Esto es demasiado en comparación con el ancho de banda con que se dispone, lo cual hace que DRM siga una aplicación más utilizada en el DAB, la modulación COFDM. Sin embargo se necesita actuar con cautela, ya que su aplicación en DRM es más complicada que en el DAB.

Los datos que serán transmitidos son codificados, utilizando un código de corrección de error FEC convolucional. La redundancia provee la facilidad de que el receptor enfrente ambos efectos, el ruido y los efectos o desvanecimiento y otros deterioros del canal. La codificación es basada, como el DAB, sobre el uso de un código convolucional, pero en un arreglo ligeramente más elaborado llamado Codificación Multi Nivel Multi-Level Coding (MLC). Además se utiliza el intercalado en frecuencia y tiempo para una mayor protección.

Después los datos son distribuidos sobre distintas portadoras para la modulación y transmisión. Así cada portadora tiene relativamente una pequeña tasa de bit para transmitir. Eso lo hace posible para asegurar que la interferencia por multitrayectoria sea pequeña comparada con la longitud del símbolo, así que, con la suma de un pequeño intervalo de guarda, la interferencia intersimbólica en la presencia de multitrayectoria puede ser eliminada. El proceso de modulación y demodulación es logrado utilizando la FFT.

Las ventajas del COFDM solo pueden ser obtenidas si sus parámetros (espacio de portadoras, longitud del intervalo de guarda) son apropiadamente escogidos para combatir los deterioros de canal. Si el intervalo de guarda es muy corto, entonces el funcionamiento estaría perdido a causa de la interferencia intersimbólica; pero de ser muy largo tendríamos una reducción en cuanto a la

capacidad de datos. Si el espacio de las portadoras es muy pequeño, entonces la habilidad de resistir al efecto doppler sería insuficiente.

Considerando el amplio rango de usos para radiodifusión en las bandas LF, MF y HF y los diferentes modos de propagación, DRM provee un rango de parámetros establecidos para la COFDM (combinaciones de espacio de portadoras / intervalo de guarda) así que las radiodifusoras tienen la flexibilidad de adoptarse a las circunstancias mientras maximizan la capacidad. La tasa de código y el tipo de constelación (16-QAM o 64-QAM para el MSC) también pueden ser escogidas.

Un intervalo de guarda de  $2 \frac{2}{3}$  [ms], junto con un espacio entre portadoras de  $41 \frac{2}{3}$  [Hz], se propone para canales gaussianos, con menor desvanecimiento, esto es particularmente conveniente para una cobertura local o nacional en LF/MF, aunque también puede ser útil en algunas aplicaciones con distancias mayores, el intervalo de guarda es suficiente para la operación SFN.

Para los canales selectivos en frecuencia y tiempo, con un mayor largo retardo o desvanecimiento mayor, se tiene un intervalo de guarda de  $5 \frac{1}{3}$  [ms], con un espacio entre portadora de  $46 \frac{7}{8}$  [Hz]. Un intervalo de guarda mayor se enfrenta mejor a los desvanecimientos por propagación multitrayectoria, mientras que un espacio entre portadoras más grande ofrece mayor tolerancia para el efecto doppler. Estas propuestas, son el resultado de las pruebas en el campo del sistema DRM.

Para cada parámetro establecido, un número total de portadoras es especificado para hacer que la señal entera ocupe justo menos que el ancho de banda nominal disponible. Hay opciones de ancho de banda correspondientes a un canal normal, un canal doble y a un canal y medio. Como actualmente se utilizan canales de 9 y 10 [kHz], tenemos 6 anchos de banda nominales: 4.5, 5, 9, 10, 18 y 20 [kHz].

### 3.4.3 Multiplexación

Con la limitada tasa de bit disponible, es importante ajustar el balance entre la flexibilidad y la eficiencia mientras se protege cada bit de información a un grado apropiado. Es necesario hacer una distinción entre la carga principal de datos y los diferentes tipos de datos que el receptor necesita para ayudarlo a encontrar y decodificar el programa deseado. Además, una opción es dar una protección de error desigual (UEP), así la mayor protección es dada a los datos

La carga principal es llamada el Canal de Servicio Principal Main Service Channel (MSC). Dos canales secundarios también son utilizados, el Canal de Acceso Rápido Fast Access Channel (FAC) y el canal de Descripción de Servicio (SDC). Estos dos son claves para asegurar una simplicidad de operación del receptor y son por lo tanto diseñados para ser seguramente recibidos en condiciones adversas, con diferente FEC del MSC.

El FAC es pensado para ser decodificado rápidamente, y así primero obtener la señal (en el encendido, o durante la examinación). Portando un mínimo de datos repetidos constantemente los cuales pueden ser esenciales en este escenario, informando el receptor que opción de ancho de banda esta en uso, que modulación es utilizada para el SCD y el MSC, cual es la longitud de los intercalados utilizados por el MSC, etc.

El SDC contiene más datos, también enviados repetidamente pero en un ciclo más largo para mantener la eficiencia. Conteniendo una identificación del servicio (s) disponible en el MSC, junto con información adicional para instruir al receptor de cómo decodificar cada servicio. Es aquí donde los registros de frecuencias alternativas y frecuencias listas serían transmitidas si conviene.

Finalmente, la mayoría de la señal la transmite el MSC. Con la limitada tasa de bit disponible dentro de un canal de 9 ó 10 [kHz], esto normalmente sería utilizado para portar un programa de

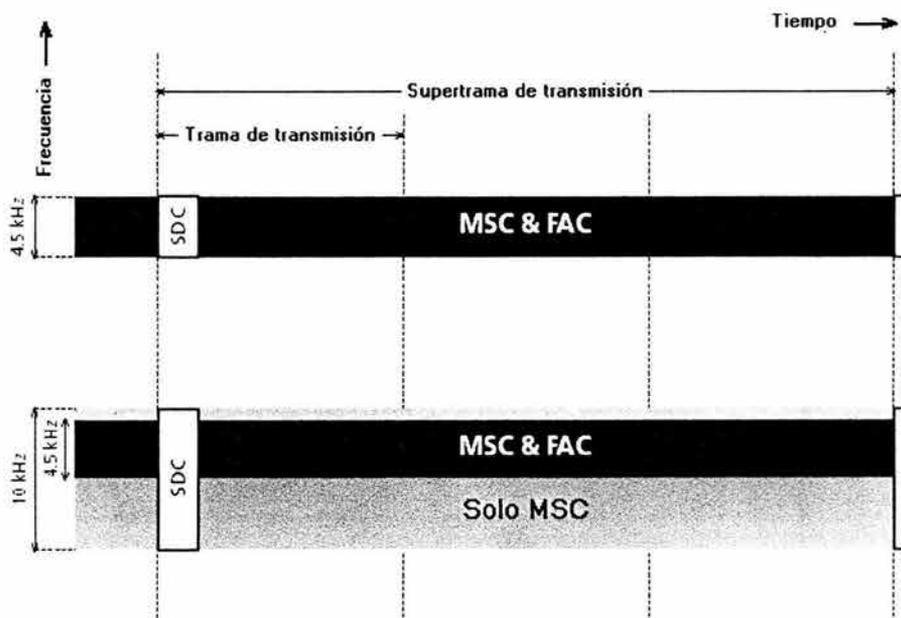
audio, junto con una pequeña cantidad de datos. No obstante, hay un grado de flexibilidad, así que el MSC puede contener entre uno y cuatro tramas de datos.. Un servicio de audio consiste de una trama de portadoras de audio, y opcionalmente una trama de portadoras de datos. Un servicio de datos solo consiste de una trama de portadoras de datos.

El FAC y el SCD son ajustados dentro de la señal de forma que apoyen su funcionalidad, como el FAC le dice al receptor que opción de ancho de banda esta en uso, el FAC esta limitado dentro de 4.5 [kHz], cualquiera que sea la opción de ancho de banda en uso, para que el receptor pueda encontrarlo. La misma subcolocación del espectro también contiene ciertas referencias de sincronización por la misma razón.

Hay también una división en tiempo. Una supertrama de transmisión con 12 [s] de largo es dividida dentro de tres tramas de 400 [ms], cada una conteniendo un número total de símbolos de OFDM.

El modelo de referencia es igual siempre; sin embargo, los datos son tratadas diferentemente. Los símbolos al inicio de cada supertrama de transmisión son utilizados para portar solo el SDC. Mientras que todos los otros símbolos son usados para portar el MSC y el FAC. Este arreglo de división de tiempo es propuesto para facilitar la conmutación de la frecuencia alternativa (AFS) en receptores simples.

EL SCD solo contiene datos que son enviados repetidamente. Una vez que el receptor tiene toda esta información, no es necesario decodificar los datos SCD. Esto significa que existe la oportunidad (cada 1.2 [s]) para un receptor el cual tiene un solo frente final para ver que esta sucediendo sobre otra frecuencia, regresando a la frecuencia principal en tiempo para continuar recibiendo el MSC sin perder algún dato.



Estructura de la trama DRM, con dos opciones de ancho de banda, mostrando que la información FAC es encontrada siempre en la misma parte del espectro, y que el SDC es insertado periódicamente.

Fig. 3.10 Estructura del Frame con 2 Opciones de Ancho de Banda

En un mínimo, el receptor podría determinar si la señal este presente, y estimar su potencia. Sin embargo, sería preferible:

- Confirmar que la señal encontrada sobre la frecuencia alternativa porta el mismo servicio que la primera (sí este es el caso, ambas señales portaran el mismo SCD y por lo tanto tendrán la misma forma onda emitida)
- Estimar la calidad de recepción
- Aproximadamente determinar la sincronización relativa

De esta manera el receptor puede decidir si la señal disponible sobre la frecuencia alternativa es mala para conmutarla, y hacerlo entonces en la próxima oportunidad.

## 4. Radio por Satélites

### 4.1 Introducción

La radiodifusión sonora digital por satélites es un sistema que nació dirigido a los receptores de los autos. Los automovilistas pre-establecen en los receptores las estaciones preferidas cambiando de estación mientras conducen, desde el trabajo, en diligencias y alrededor de la ciudad. Pero cuando se viaja demasiado lejos de la estación fuente, la señal se rompe y se deshace en estática. La mayoría de las señales de radio pueden viajar solamente alrededor de 50 a 60 [km] lejos de su fuente. Superando estas desventajas llega la radio satélital es decir nace un servicio donde es posible escuchar música ininterrumpidamente, sin ruido, sin interferencias, con calidad de CD y con la posibilidad de escoger entre más de 50 géneros de música sin mensajes comerciales. Una estación de radio de la cual pueda difundir su señal más de 35,000 [km] lejos y puede entonces llegar a la radio del auto con claridad completa sin tener que siempre cambiar la estación de radio.



*Fig.4.1 Radiodifusión por Satélites*

### 4.2 DARS (Digital Audio Radio Satellite)

En 1992, en Estados Unidos la FCC asignó un espectro en la banda S de 2310-2360 [GHz] para la difusión a nivel nacional del servicio DARS (Digital Audio Radio Satellite). Solamente cuatro compañías solicitaron una licencia para emitir en esa banda. La FCC dio licencias a dos de estas compañías en 1997. Satélite CD Radio (actualmente Sirius Satélite Radio) y American Mobile Satélite (ahora XM Satélite Radio).

En el año de 1997, la FCC le asignó a estas empresas por el método de licitación, un aspecto radioeléctrico de 12.5 [MHz]. a cada una de ellas, para ofrecer el servicio de radio digital con base en 50 canales de formatos diferentes y como servicio de paga. Transmiten un total de 200 canales de cobertura nacional. Cada una de ellas pago mas de 80 millones de dólares por la concesión.

Denominados como servicios DARS, actualmente estos dos sistemas funcionan en Estados Unidos y es posible recibir la señal sin problemas en cualquier zona. Cada empresa ofrece 100 estaciones, con locutores, con calidad de audio digital y sin obstáculos geográficos que distorsionen la señal. Transmiten música de diversos géneros y temas de contenido, por ejemplo noticiarios nacionales e internacionales, cápsulas médicas, programas deportivos, entre otros.

Otra organización que surge para llevar a cabo también servicios de radiodifusora sonora digital, es WorldSpace. Esta compañía tiene su sede en Washington D.C. y fue la primera empresa en enviar servicios digitales vía satélite, su objetivo principal es llevar servicios de audio digital y multimedia, directamente de sus satélites a los continentes donde se encuentran países del tercer mundo, entre ellos se encuentran África, Medio Oriente, Asia, Latinoamérica, y el Caribe.

En este momento, hay tres emisoras de radio satelital:

- Sirius Satellite Radio se encuentra en un estado operacional en los Estados Unidos
- XM Satellite Radio lanzó servicios comerciales en áreas limitadas de los Estados Unidos el 25 de septiembre del 2001
- WorldSpace está funcionando ya en África y Asia, y comenzará a funcionar pronto en América Latina.

Las compañías de radio basadas en los satélites están comparando la influencia de su servicio al impacto que la televisión por cable tuvo en la televisión hace 30 años. Los oyentes no podrán tomar estaciones locales usando servicios de radio basados en los satélites, sino que tendrán acceso a los centenares de estaciones que ofrecen una variedad de géneros de música. Cada compañía tiene un plan distinto para su sistema de radiodifusión, pero los sistemas comparten semejanzas. Aquí están las principales componentes de los tres sistemas de radio basados en los satélites:

- Satélites
- Repetidores de tierra
- Receptores de radio

Tomando una mirada más cercana, se pueden ver que las variaciones son leves en los tres sistemas de sociedades de radiodifusión por satélite.

#### **4.2.1 XM Satellite Radio**

XM Radio utiliza dos satélites Boeing HS 702 (espectro de los 2332.5 a 2345 [MHz]). Apropiadamente llamados "Rock" y "Roll", colocados en órbita geoestacionaria paralela, uno en 85° de longitud del oeste y la otra en 115° de longitud del oeste. La órbita geoestacionaria de la tierra, cerca de 35,764 [km] sobre la tierra, y es el tipo de órbita más usado para satélites de comunicaciones. El primer satélite XM, "Rock," fue lanzado el 18 de Marzo del 2001, seguido por el "Roll" el 8 de Mayo.

Por otro lado la carga útil de los satélites de XM fue construida por la compañía europea Alcatel. Esta carga útil está compuesta por 2 transpondedores, cada uno con 16 TWT (traveling wave tube) activos de 228[W] (más seis reservas), generando aproximadamente 3,000 [W] de señal de RF. Los lanzamientos de los satélites fueron realizados por Sea Launch, un lanzador de satélites comerciales. Se dice que este tipo de lanzadores ofrecen una ruta más directa y más económica hacia la órbita de transferencia. Existe otro tercer satélite HS 702 que será puesto en órbita y servirá como reserva, en caso de que alguno de los otros dos falle.

La estación de tierra de XM Radio transmite una señal a sus dos satélites GEO, los que rebotan la señal hacia abajo a los receptores de radio en la tierra. Los receptores de radio se programan para

recibir y descifrar los datos digitales de la señal, que contiene hasta 100 canales de audio digital. Además del sonido codificado, la señal contiene la información adicional sobre la emisión. Exhiben el título, al artista y el género de la música todo en la pantalla de la radio. En las áreas urbanas, donde los edificios pueden bloquear la señal basada en los satélites, el sistema de radiodifusión de XM es suplido por los transmisores de tierra.

Cada receptor contiene un set de chips propietario. XM comenzó con set de chips que entregaban a sus socios de radio de la fabricación XM en octubre de 2000. El set de chips consiste en dos circuitos integrados diseñados por ST Microelectronics . XM se ha unido con Pioneer, Alpine, Clarion, Delphi Delco, Sony y Motorola para fabricar las radios de auto XM. Sharp también está trabajando en una versión casera del receptor de radio XM. Cada receptor de radio basado en los satélites utiliza una antena pequeña, clasificada auto-teléfono para recibir la señal XM. General Motors ha invertido cerca de \$100 millones USD en XM, y Honda también ha firmado un acuerdo de utilizar las radios XM en sus autos. GM comenzó a instalar los receptores de radio basados en los satélites XM en modelos seleccionados a principios de 2001.

XM brinda 50 programas de música y 50 de charla, enviando esporádicos comerciales y el costo de la suscripción es de \$ 9.99 USD mensuales, los suscriptores pueden recibir la señal XM. Por ese precio, los oyentes reciben hasta 100 canales de música, de conversación y de noticias. Muchos de los canales no tienen anuncio y otros que no tienen más de siete minutos de comerciales por hora. Los proveedores de XM incluyen USA Today, BBC, CNN/Sports Illustrated y The Weather Channel.

#### 4.2.2 Sirius Satellite Radio

A diferencia de XM, Sirius no utiliza los satélites GEO. En lugar, sus tres satélites SS/L-1300 forman una constelación inclinada en forma elíptica (de 2320 a 2332 [MHz]). Dos de sus satélites están activados siempre en el espacio estadounidense y el tercero se desactiva cuando esta fuera de este territorio.

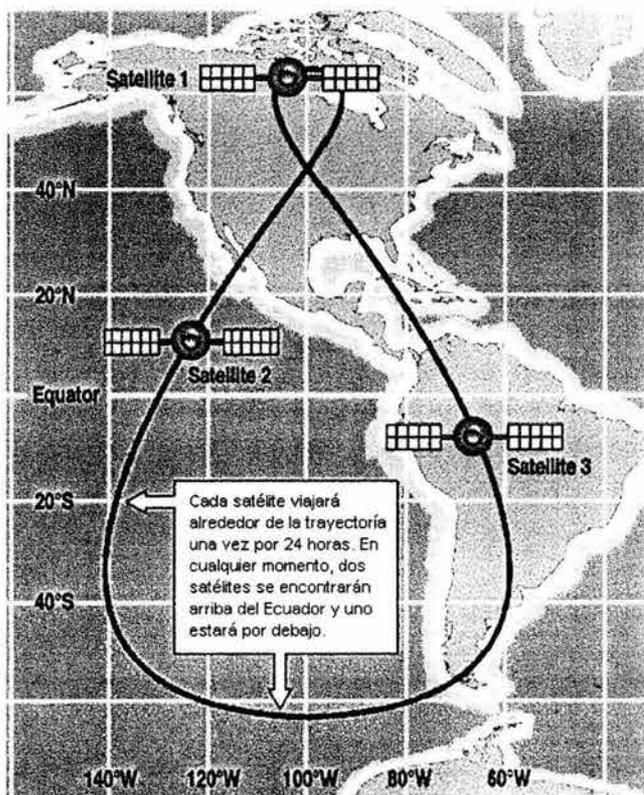


Fig. 4.2 Cobertura de Sirius

Sirius dice que la trayectoria elíptica de su constelación basada en los satélites le asegura de que cada satélite pase cerca de 16 horas al día sobre los Estados Unidos, con que por lo menos un satélite este sobre el país siempre. Sirius terminó su constelación de tres satélites el 30 de noviembre del 2000. Un cuarto satélite permanecerá en la tierra, listo para ser lanzado si cualesquiera de los tres satélites activos presentan problemas de transmisión.

El sistema de Sirius es similar al de XM. Los programas serán emitidos a uno de los tres satélites de Sirius, que entonces transmitirán la señal a la tierra, donde su receptor de radio tomará uno de los canales dentro de la señal. Las señales también serán emitidas hacia los repetidores para los oyentes en las áreas urbanas donde la señal basada en los satélites puede ser interrumpida.

Mientras que XM ofrece radios para autos y portátiles, Sirius se está concentrando solamente en el mercado de radio de auto. El receptor de Sirius incluirá dos porciones, el módulo de la antena y el módulo de receptor. El módulo de la antena tomará señales de los repetidores de tierra o del satélite, amplificará la señal y filtrará cualquier interferencia. La señal entonces será pasada al módulo de receptor. Dentro del módulo de receptor se encuentra un set de chips consistente en ocho chips. El set de chips convertirá las señales a partir de 2.3 [GHz] a una frecuencia intermedia más baja. Sirius también ofrecerá un adaptador que permita que las radios de auto convencionales reciban señales basadas en los satélites. El adaptador costará cerca de \$199USD.

Sirius tiene acuerdos con Ford, DaimlerChrysler, BMW, Mercedes, Mazda, Jaguar y Volvo de instalar las radios de la tres-bandas (AM/FM/Satellite) en los modelos que comenzaron en 2001. Los receptores de \$170 a \$1000 USD (Anexo I) están siendo producidos por Sanyo, Pioneer, Panasonic, Kenwood, Jensen, Clarion y Alpine.

Los proveedores para la red de Sirius incluirán BBC, las redes de radio de Bloomberg, el C-SPAN, el CNBC y la radio pública nacional. Sirius también tendrá muchas estaciones de la música. El valor mensuales por el servicio de Sirius será de \$13 USD.

### Satellite Digital Audio Radio Services (SDARS)

Parámetros	Sirius	XM	Comentarios
En órbita			
Número de Satélites (longitud)	3 (nominal 100°W)	2(85° y 115°W)	Los satélites de Sirius están en órbita elíptica. Los de XM son geoestacionarios
Frecuencias de subida	7060-7072.5[MHz]	7050-7075[MHz]	Sirius también utiliza la banda Ku (14-12 [GHz]) para los repetidores de subida
Frecuencias de bajada	2320-2324[MHz] y 2328.5-2332.5[MHz]	2332.5-2336.5[MHz] y 2341-2345 [MHz]	Redundancia en los enlaces para una diversidad de espacio, frecuencia y tiempo
Angulo de elevación satelital	60°	45°	
En tierra			
Localización	New York City	Washington, D.C.	
Número de estudios			
Número de Repetidores terrestres	105	1500	Número Aproximado
Repetidor EIRP	Arriba de 40[kW]	90% esta en 2[kW]	
Otras Características			
Número de canales con calidad CD (64[kbps])	50		Baja calidad de servicios usa 0.5-64 [kbps]

Número de canales para programas de discurso	50		Sistemas reconfigurables
Modulación Satelital	TDM-QPSK		Cada portadora cerca de 4 [MHz] de ancho
Modulación en los repetidores terrestres	TDM-COFDM		Portadora Ensemble cerca de 4[MHz] de ancho
Esquema de codificación de canal	Concatenado		Corrección de errores RS para el código externo y un código interno convolucional con una tasa de 1/2
Esquema de codificación de la fuente	Lucent PAC		Tasa nominal para una calidad de música tope 64 [kbps]
Tasa de Transmisión	4.4 [Mbps]	4.0[Mbps]	Antes de la codificación de canal

Tabla 4.1 Características de XM y Sirius

### 4.3 WorldSpace

Hasta ahora, WorldSpace ha sido el líder en la industria de radio basada en los satélites. Puso dos de sus tres satélites, AfriStar y AsiaStar, en órbita geoestacionaria antes de que cualquiera de las otras dos compañías lanzara uno. AfriStar y AsiaStar fueron lanzados en octubre de 1998 y en marzo del 2000 respectivamente. AmeriStar está programado para el lanzamiento a fines del 2001. Cada satélite transmite tres bandas de la señal, llevando más de 40 canales de programación, a tres áreas traslapadas de cerca de 5.4 millones de millas cuadradas (14 millones de km<sup>2</sup>). Cada una de las tres bandas de los satélites de WorldSpace puede entregar sobre 50 canales de audio cristalino y multimedia vía el segmento del 1467-1492 [MHz] del espectro de la banda-L, que se asigna para la emisión de audio digital.

Inicialmente, los Estados Unidos no serán parte del área de la cobertura de WorldSpace. Sin embargo, la compañía ha invertido en XM radio y tiene un acuerdo con XM de compartir cualquier progreso tecnológico. WorldSpace va más allá de una nación. Eso pudo exagerar el intento de la compañía un poco, pero WorldSpace planea alcanzar las esquinas de nuestro mundo que no pueden la mayoría de las estaciones de radio. Hay millones de personas que viven en áreas proyectadas para escuchar WorldSpace que no pueden recibir una señal de una estación de radio convencional. WorldSpace dice que tiene una audiencia potencial de cerca de 4.6 mil millones de oyentes que atraviesan cinco continentes.



4.3 Cobertura de WorldSpace

Las emisoras de WorldSpace suben su señal a uno de los tres satélites a través de un hub centralizado o a través de una estación individual del acoplamiento del alimentador establecido dentro de la banda global del enlace de subida. El satélite entonces transmite la señal en una, dos o tres bandas en cada satélite. Los receptores en la tierra entonces toman la señal y proporcionan el sonido de calidad-CD a través de una antena desmontable.

WorldSpace contrajo a cuatro compañías de la electrónica de consumidor para producir receptores portables pequeños, incluyendo JVC, Matsushita (Panasonic), Hitachi y Sanyo. El receptor cuesta entre 130 y 500 Euros. Cada receptor es capaz de recibir datos en un índice de 128 [kbps]. Los receptores utilizan el set de chips propietario de StarMan, fabricado por STMicroelectronics, para recibir señales numéricas de los satélites.

Las tarifas de la suscripción de Worldspace son determinadas por los distribuidores locales. Estos distribuidores ofrecen las opciones de servicio múltiples, extendiéndose de un servicio básico barato a un servicio high-end de la especialidad. La programación para WorldSpace se entrega a través de Discovery, CNN, BBC, las noticias de Bloomberg y MTV Asia, entre otros.

WorldSpace, una compañía que ofrece el servicio de DSR a nivel mundial, opera en la banda "L" internacional de difusión de radio (1452-1492 [MHz]). La FCC aparentemente no permitirá a WorldSpace difundir su señal en los Estados Unidos - no esta asignada esta banda en EUA- pero WorldSpace asegura que con una antena especial, los usuarios en los Estados Unidos, Europa o Rusia podrán recibir la señal.

El sistema WorldSpace está autorizado por cuatro gobiernos -La FCC de EUA para AfriStar 1, el gobierno de Ghana para AfriStar A, el gobierno de Trinidad y Tobago para CaribStar 1 y el gobierno de Australia para AsiaStar 1. Además, numerosos países han enviado formalmente a la ITU cartas de asociación con las licencias de satélite ya descritas. Estas cartas de asociación formalmente establecen las bases legales para transmitir un haz de satélite a un país en particular.

Parámetros del sistema	XM Radio	Sirius	WorldSpace
Banda de frecuencia	Banda "S"	Banda "S"	Banda "L"
Órbita de los satélites	Geoestacionaria	Elíptica	Geoestacionaria
Cobertura	Sólo EUA	Sólo EUA	Casi mundial
Precio mensual del servicio	\$ 10 USD	\$ 13 USD	Sin costo
Disponibilidad del servicio	Desde 2001	Desde 2002	Desde 1999

Tabla 4.2 Comparativa de los tres sistemas

## Capítulo V: Aspectos a Considerar para un Sistema de Radiodifusión Sonora Digital

En los últimos años, la mayor parte de los países desarrollados ha iniciado una carrera hacia la digitalización de sus medios de comunicación. En este clima, favorecido por el crecimiento de los sectores industriales tecnológicos y el "boom" de la nueva economía, la industria radiofónica ha iniciado también el estudio de su transición hacia los entornos digitales y la determinación de los plazos para un futuro apagón analógico. En la radio, esta discusión ha tenido a Europa como un actor protagonista a través del desarrollo de la iniciativa Eureka147 del DAB. La implantación de este sistema en los principales países europeos ha sido, sin embargo, muy lenta y problemática. También han terminado de ultimarse otros dos modelos, DRM para emisiones de AM y el norteamericano IBOC de Ibiquty. Los cuales se enfrentan a grandes conflictos. Por último los sistemas de radiodifusión satelital tecnológicamente son un éxito pero están dirigidos aún a pocos usuarios. Y es que en general el adoptar un sistema de radiodifusión nuevo implica toda una reestructuración en varios aspectos no sólo el tecnológico o técnico, sino también el económico y por supuesto el legal.

### 1. Espectro Radioeléctrico y Aspectos de Regulación Legal

La regulación del espectro es sin duda uno de los puntos más importantes en la implantación de un nuevo sistema de radiodifusión digital. Dado a que es un recurso muy valioso, su regulación dependerá del sistema a adoptar.

#### 1.1 Asignación de Nuevas Bandas

Cuando Eureka-147 manifiesta su capacidad tecnológica, se inician los estudios sobre la asignación de frecuencias a nivel mundial puesto que es un sistema que requiere la asignación de una banda distinta. Para ello, a partir de los trabajos realizados en 1988 por la UIT, en Ginebra Suiza, durante el desarrollo de la Conferencia Mundial de Satélites, se emitió la resolución Núm. 520, en la cual se convocó a los países miembros para analizar y proponer, tanto el rango de frecuencias más adecuado para la ubicación del servicio así como sus principales características. Asimismo, el comité consultivo internacional de Radiocomunicaciones, a través de los diversos comités y comisiones, pidió a los diferentes países elaborar los estudios necesarios, para emitir recomendaciones más eficientes para este nuevo servicio.

Bajo este contexto y tal como lo planearon, durante la Conferencia administrativa mundial de Radiocomunicaciones (CAMR-92), efectuada del 3 de febrero al 3 de marzo de 1992 en Málaga, Torremolinos España, los 132 países asistentes, después de haber debatido por más de 30 días, acordaron asignar a nivel mundial el segmento 1452 a1492 [MHz] dentro de la banda L, para alojar los servicios de radiodifusión sonora digital.

PAIS	BANDA [MHz]	INICIO
Francia	Banda L (1452-1492)	1995
Alemania	VHF(223-230) Canal 12 Banda L	1995
Reino Unido	VHF(223-230) Canal 12 Banda L VHF(217.5-223)	1995
Bélgica	VHF(223-230) Canal 12 Banda L	1997
Luxemburgo	VHF(223-230)	1996

Tabla 1.1 Uso del Espectro países europeos

En este evento la UIT fijó un plazo de 15 años (de abril de 1992 a abril 2007) para que los servicios que hoy ocupan la banda L se trasladen poco a poco a otros segmentos.

Al terminar el período de transición en el año 2007, las nuevas emisoras podrán usar a título primario la banda L para el servicio de radiodifusión sonora digital.

También en la CAMR-92 los países que patrocinaron el proyecto de Eureka-147, plantearon para el desarrollo del servicio a través de la red de satélites europeos, la banda S en la porción de 2500 [MHz] pues en ese momento consideraban tener en servicio de 12 a 20 canales de audio de alta calidad, para ser transmitidos por diferentes grupos de satélites.

Varios países del mundo incluido México, aceptaron la asignación mundial de los 1452-1492 [MHz]. El único país que se negó fue Estados Unidos, a este país se le atribuyó el espectro de banda que va de los 2310-2360 [MHz] en banda S, para el desarrollo de la radio por satélite. Otras excepciones, fueron algunos países asiáticos, por ejemplo Rusia, India Pakistán, Singapur, China, Tailandia, Ucrania entre otros, quienes en ese momento optaron, a título primario, para la radiodifusión digital vía satélite y el servicio de radiodifusión terrenal complementario, la banda que va de 2535 a los 2655 [MHz].

<b>Región 1</b>	<b>Región 2</b>	<b>Región 3</b>
1452-1492 [MHz] Radiodifusión Terrestre y por Satélite	1452-1492 [MHz] Radiodifusión Terrestre y por Satélite	1452-1492 [MHz] Radiodifusión Terrestre y por Satélite
	2310-2360 [MHz] Radiodifusión por Satélite	
2520-2655 [MHz] Radiodifusión por Satélite	2520-2655 [MHz] Radiodifusión por Satélite	2520-2655 [MHz] Radiodifusión por Satélite
		2535-2655 [MHz] Radiodifusión Terrestre por Satélite
2655-2670 [MHz] Radiodifusión por Satélite	2655-2670 [MHz] Radiodifusión por Satélite	2655-2670 [MHz] Radiodifusión por Satélite

*Tabla 1.2 Atribución del Espectro por regiones de la UIT*

El peor inconveniente de Eureka-147 radica en la completa reordenación del sistema radiofónico, que es requerida para la transición de la radio analógica a la digital y obliga a una redistribución de licencias en una banda de frecuencias diferente, lo que trastocará el actual reparto. Este traspaso ya implica de por sí varios problemas para las emisoras, más aún cuando la presencia en el sistema analógico no garantiza un lugar dentro del nuevo reparto digital.

### 1.2 Servicios en las Banda Actuales

La asignación de nuevas bandas de frecuencias fue el principal obstáculo el cual orientó a la industria radiofónica norteamericana en los años ochenta a encontrar un estándar de emisión que permitiera compatibilizar las emisiones analógicas y digitales utilizando la misma frecuencia. Pese a que en un primer momento la NAB se interesó por el sistema Eureka-147 que en esos momentos estaba dando sus primeros pasos finalmente se optó por buscar otros sistemas de difusión digital de audio que, entre otras cosas, no exigieran una redistribución de frecuencias, sino que pudieran utilizar la misma asignación en AM y en FM para transportar la señal digital.

Algo de lo que influyo también esta decisión fue, que la industria de la radio en Estados Unidos esta basada en la radio comercial. Lo cual no ocurre en Europa donde existen numerosas redes de radios nacionales que son financiadas por el gobierno.

La discusión para apoyar la tecnología se basa sobre todo en un plan de la migración que el NAB juzgó sensible y aceptable. En el plan, la migración a la difusión digital del audio tomará dos

medidas. El primer paso es moverse desde la transmisión analógica de los todos los días a un sistema híbrido, que inserta señales digitales a lo largo de las dos bandas laterales de la señal analógica. El segundo paso es sustituir totalmente la señal analógica por las señales digitales, que pueden llevar servicios adicionales, bajo estas medidas el mercado se adaptará gradualmente al nuevo sistema.

IBOC incorpora técnicas las cuales promueven el uso eficiente del espectro. La compresión de audio minimiza el ancho de banda requerido para lograr la calidad de audio deseada. La codificación FEC y las técnicas de intercalado facilitan cumplir con la robustez, aún cuando la interferencia corrompa una porción de la señal. Adicionalmente, el pulso formado de los símbolos OFDM ayuda a reducir la interferencia del canal adyacente para las estaciones analógicas existentes y las digitales en el futuro. Estas mejoras, las cuales la tecnología digital es capaz de ofrecer, son necesariamente para que la señal digital sobreviva en las fuertemente congestionadas bandas de AM y FM.

IBOC es un estándar que permite compatibilizar las emisiones analógicas y digitales utilizando la misma frecuencia. Lo cual representa un logro técnico notable, sin embargo, no se puede poner en ejecución sin tomar en cuenta algunas consideraciones como por ejemplo, la necesidad de una compartición de frecuencias, pues es una tecnología la cual trabaja con una señal digital, que es enviada en los canales adyacentes de la emisión analógica, si bien siempre dentro de las mascarar permitidas para la transmisión AM y FM también se está utilizando una porción del espectro la cual no está asignada, sino que sirven para evitar interferencias en las transmisiones analógicas.

Los sistemas de AM se diferencian de los sistemas de FM en muchos aspectos, particularmente en los términos de la naturaleza de la interferencia debido al esquema de modulación. Para sistemas de FM, las señales digitales y analógicas se transmiten sin el traslape en frecuencia, mientras que en los sistemas de AM la transmisión simultánea de señales analógicas y digital en la misma frecuencia no es posible, debido a la modulación analógica y las limitaciones severas del ancho de banda en las bandas de AM. El espectro disponible en el caso de AM es muy pequeño para realizar una transmisión digital y si a esto aunamos los cambios que sufren las señales durante la noche, será sin duda inevitable cambiar los valores de las interferencias objetables o bien de proponer una distinta compartición de frecuencias.

Para el caso de IBOC FM, la tasa de audio digital se puede duplicar y transmitir en ambos lados de la señal analógica para proporcionar una solución robusta. Sin embargo, en el caso de AM, no hay bastante ancho de banda para transmitir una tasa duplicada.

En Estados Unidos la separación entre las bandas de AM es de 10 [kHz] y las estaciones en la misma localización geográfica separada por lo menos 20 [kHz]. Es decir, solamente cada segunda banda adyacente se asigna a la misma ciudad. En general se trabaja así alrededor del mundo pero entonces será necesario aceptar cierta interferencia adicional. La gerencia del espectro implica necesariamente compensaciones entre interferencia y servicio. Los esquemas reguladores técnicos de AM y de FM se diseñaran con ciertas excepciones sin olvidar que esto será temporal mientras se este trabajando en el modo híbrido de IBOC, una vez integrado el modo digital los servicios mejorarían.

En los últimos años el NRSC (National Radio Systems Committee), es la entidad que se ha encargado de evaluar y analizar, los resultados de las pruebas de los sistemas IBOC, al realizar demostraciones comparativas entre los sistemas proponentes en competencia. Con la creación de la compañía Ibiquity, el comité se enfocará únicamente a valorar los estudios de esta empresa.

En el primer reporte se obtuvieron pobres resultados en el funcionamiento de audio bajo condiciones de deterioro de la señal, e incompatibilidad con el servicio analógico. En el último informe el NRSC cree que el sistema FM IBOC de Ibiquity debe ser autorizado por la FCC como la tecnología que permitirá adoptar la radio digital de calidad, en cuanto a IBOC AM. El informe de

NRSC concluye que Ibiquty desarrolló una solución atractiva para mejorar la radiodifusión AM utilizando la mejor de la tecnología disponible hoy en día pero NRSC recomienda que IBOC AM de Ibiquty se debe autorizar solamente para trabajar en el día.

Cabe destacar que los estadounidenses, llevan muchos años realizando pruebas del sistema IBOC, obteniendo solo mejorías sustanciales en la calidad de servicio de IBOC en FM, En el caso de IBOC AM, los problemas han sido mayores, pues desde que iniciaron sus trabajos para digitalizar AM, reconocieron que representaba todo un reto el poner en el ancho de banda de una estación de AM, una portadora digital, ya que es un proceso difícil de realizar. Hasta ahora, los resultados de IBOC en AM no han sido favorables, por lo tanto, buscan la manera de solucionar las dificultades que aún se presentan en esta banda.

Por el contrario que con Eureka, IBOC no requiere mucho trabajo con las estrategias de regulación, pero si es necesario contar con una distribución espectral más rigurosa lo cual nos ayude a obtener un servicio de que no cause interferencias.

En 2002, DRM recibió la aceptación por la ITU para las tres bandas que difundían debajo de 30 [MHz]. Los países de miembro del ITU aprobaron una versión revisada de la recomendación BS1514, ahora llamada recomendación BS1514-1 (Radiodifusión Sonora Digital, debajo de 30 [MHz]), La cual Indica que DRM es una recomendación de ITU-R para todas las bandas que transmiten a través de 150 [kHz] a 30 [MHz]. Ningún otro sistema de radio digital ha recibido tan amplia recomendación (incluyendo, onda corta, media y larga) por la ITU. Además, el instituto europeo de los estándares de las telecomunicaciones (ETSI) publicó una especificación técnica del sistema de DRM en septiembre de 2001. El documento se llama a ETSI TS 101 980 V1.1.1.

DRM es el único sistema no propietario digital para onda corta, media y larga con la capacidad de utilizar frecuencias y el ancho de banda existentes a través del globo.

Como se utilizarán las mismas bandas de frecuencias en los mismos canales y los receptores seguirán siendo los mismos (fijos, portátiles y móviles), el cambio al nuevo sistema será totalmente transparente. Lo que sí se notará en cambio, es la calidad, con una recepción nítida, un contenido de programas más diversificado y una mayor riqueza de contenido gracias a la tecnología digital. Llevará a los mercados de radiodifusión en AM mundiales a un sonido y unos servicios de calidad digital que superarán las expectativas de los oyentes y revivirá el mercado de la radiodifusión en zonas en las cuales su desarrollo está estancado.

Por lo que si se desea adoptar esta tecnología será necesario tomar en cuenta que: Hay varias "modalidades" para satisfacer las necesidades de las entidades de radiodifusión. Por ejemplo, más canales menos seguros y de inferior calidad o menos canales más seguros y de superior calidad o cualquier combinación de los anteriores. La utilización de un solo sistema mundial por debajo de 30 [MHz], no patentado para la radiodifusión y la información digital, y para la radiodifusión de datos. El mismo receptor digital DRM funcionará en cualquier parte del mundo con independencia de su origen.

En principio, habrá una coexistencia en modo simulcast con la transmisión analógica dentro de un único canal. Más adelante el canal se utilizará exclusivamente para la transmisión digital, que será de superior calidad. Sin embargo, la transmisión analógica no dejará de existir totalmente sino que continuará con algunos canales dedicados exclusivamente al parque de receptores analógicos. Esta fase ha sido denominada "Multicast".

A la vista de las citadas características, DRM propone utilizar los dos canales analógicos actuales, 9 [kHz] (2 x 4,5 [kHz]) y 10 [kHz] (2 x 5 [kHz]) para la transmisión DRM en la etapa inicial. En la modalidad "simulcast", el canal analógico se colocará en el centro entre dos bandas de 4.5 [kHz] o 5 [kHz] de canales digitales. El nivel de la portadora analógica estará 30 [dB] por encima de la portadora digital como exige el sistema. Sin embargo, el ancho de banda total para dicha transmisión simulcast será de 15 [kHz] aproximadamente y necesitará una nueva redistribución y

coordinación de los canales de ondas decamétricas. Los sistemas de IBOC AM son también parte de esta recomendación. Por lo que seguirían las mismas especificaciones.

### 1.3 Aspectos Legales en México

Como México aún no decide que sistema adoptar lo único que se han realizado son acuerdos para las pruebas de ambos sistemas, para ello la SCyT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) crea en julio de 1999 el Comité Consultivo de Tecnologías Digitales en Radiodifusión, formado por tres elementos de la SCT y tres de la CIRT (Cámara de la Industria de la Radio y la Televisión). Como resultado de los primeros trabajos, el Comité emitió las primeras recomendaciones a la SCT sobre el tema y en marzo del 2000 quedaron legalmente apartadas las bandas de frecuencias que serán aprovechadas para las nuevas tecnologías:

- Con el fin de realizar trabajos de investigación y desarrollo relativos a la introducción de la radiodifusión sonora y televisión digitales, se reservan las bandas del espectro radioeléctrico indicadas a continuación, señalándose en cada caso su correspondiente atribución, conforme al Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias vigente.
- La banda de 535 a 1705 [kHz] está atribuida exclusivamente al servicio de radiodifusión sonora modulada en amplitud (AM).
- La banda de 88 a 108 [MHz] está atribuida exclusivamente al servicio de radiodifusión sonora modulada en frecuencia (FM).
- La banda de 1452 a 1492 [MHz] está atribuida a los servicios fijo y de radiodifusión sonora por satélite y al servicio de radiodifusión sonora terrenal complementaria.
- La banda de 2310 a 2360 [MHz] está atribuida a los servicios fijo y de radiodifusión sonora por satélite y al servicio de radiodifusión sonora terrenal complementario.
- En el caso de que se requiera de nuevas asignaciones de frecuencia para la prestación de servicios fijos o móviles, en las bandas, 1452 a 1492 [MHz] y 2310 a 2360 [MHz], éstas deberán ser acordadas previamente entre la Comisión Federal de Telecomunicaciones y la Dirección General de Sistemas de Radio y Televisión de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

También en este acuerdo, los trabajos de investigación y desarrollo para la introducción de la radiodifusión digital, tienen por objeto establecer criterios técnicos para la planificación de las bandas de frecuencia, así como determinar las características y parámetros que serán fijados para la instalación y operación de las estaciones de radiodifusión digital.

En octubre del 2000 la SCyT difunde otro convenio. En éste se resalta la iniciación del establecimiento de procedimientos, condiciones y plazos para la implantación de las nuevas tecnologías digitales en radiodifusión.

En esta resolución se determinó lo siguiente:

- Las personas que cuenten con concesión o permiso para operar canales o frecuencias para estaciones de radiodifusión, en términos de la LFRyT, deberán observar todas las medidas que dicte la SCyT para la introducción, desarrollo e implantación en México de las tecnologías digitales aplicables a la radiodifusión y así, propiciar la eficiencia técnica de los servicios que presenten las radiodifusoras.
- En atención a los avances tecnológicos que se observen a nivel internacional y a fin de mejorar la calidad y diversidad de los servicios de radiodifusión que se ofrecen a la

población, la SCyT, a su juicio, resolverá sobre la o las tecnologías de transmisión digital de las señales de radiodifusión que serán adoptadas en México.

- El concesionario estará obligado a implantar la o las tecnologías que así resuelva la SCyT y, al efecto, deberá observar y llevar a cabo todas las acciones en los plazos, términos y condiciones que le señale la propia Secretaría, a fin de garantizar la eficiencia técnica de las transmisiones.
- Las modificaciones que determine la SCyT a las condiciones técnicas de operación de la estación concesionada, versarán, según sea necesario para la adecuada introducción, implantación y operación de los servicios con la tecnología digital adoptada por la SCyT, sobre el uso de una frecuencia, en la banda que actualmente se presentan los servicios o en una diferente; el área de servicio que deberá cubrir el concesionario; la potencia radiada aparente (P.R.A), los horarios de operación y las demás condiciones técnicas que determine la Secretaría.
- En virtud de que será necesario transmitir simultáneamente señales analógicas y digitales, para garantizar la continuidad del servicio público, la SCyT determinará el plazo durante el cual deberán realizarse las transmisiones simultáneas; en el caso de las tecnologías de transmisión digital, adoptadas por la SCyT involucren la utilización de otra frecuencia, la propia SCyT señalará a su juicio y que cuando así lo estime conveniente, la frecuencia que será reintegrada al término de las transmisiones simultáneas y establecerá el plazo para tales efectos. Estas condiciones serán acatadas, tanto por las personas que cuenten con permiso como con concesión.

### ***Hablando de sistemas satelitales***

Para el funcionamiento de los sistemas DARS en México, se firmó un acuerdo con los estadounidenses, con el fin de regular las transmisiones de los DARS en la zona norte, entre los dos países. En el convenio se contempló que la inclusión de los DARS en nuestro país, será de aproximadamente 300 [km], y los 200 canales penetrarán en ciudades como: Tijuana, Nogales, Ensenada, Chihuahua, Monterrey y Saltillo, con una población de 13.5 millones de habitantes.

## **1.4 Convergencia Tecnológica**

Otro aspecto importante para la implantación de nuevas tecnologías es lo que se refiere a la convergencia tecnológica.

La radio trata de dar servicios escritos y visuales además de los sonoros, se une a otros medios para estar presente en las acciones y usos del consumidor. La combinación de la tecnología de radiodifusión terrestre clásica con las nuevas tecnologías de transmisión y compresión digital permite que el ramillete de programas esté constituido por una diversidad de nuevos servicios digitales ofrecidos por las entidades de radiodifusión sonora al público, consumidores y empresas locales. Los canales de radiodifusión podrían transmitir no solamente señales de sonido de alta calidad para los usuarios sino también valiosa información con exactitud y rapidez, haciendo que el servicio de radiodifusión resulte más productivo, eficaz y ameno. La capacidad de la radiodifusión sonora para informar, educar y entretener en el hogar y fuera de él, no tiene competencia. La tecnología digital puede modernizar en estos momentos este gran medio de difusión de tan larga tradición. La capacidad de transmitir datos como texto o gráficos difundidos por el medio ya sea de forma independiente o solapando señales sonoras, gracias a los avances de la tecnología digital, constituye un progreso muy importante.

La búsqueda de nuevas oportunidades comerciales de radiodifusión de datos podría conducir a la anhelada segunda fuente de ingresos para las entidades de radiodifusión que se enmarcaría en el

nuevo mercado de las comunicaciones inalámbricas de vertiginosa expansión. Las comunicaciones inalámbricas podrían constituir el principal mercado de nuevos servicios de comunicaciones en los próximos años y durante muchos años más. Una de las razones más importantes para considerar la radiodifusión de datos la constituye su potencial como fuente de ingresos suplementarios. Igualmente importante resulta utilizar al máximo y de la manera más eficaz todo el espectro de radiodifusión gracias a técnicas tales como las de radiodifusión digital de modo que el sector pueda proteger sus recursos de espectro contra los nuevos competidores que pretenden por todos los medios acceder a estos activos tan valiosos

## México

En nuestro país estos servicios no son compatibles aún, por ello será un asunto primordial para el desarrollo de los medios electrónicos y el que se revise también la LFT (Ley Federal de Telecomunicaciones).

En marzo del año 2001, se formó la Conferencia Parlamentaria de Telecomunicaciones (CPT), para llevar a cabo los trabajos de reforma de esta ley. En ella, se debaten diversos temas, de los cuales se pretende lograr mayores consensos posibles. Aunque existen acuerdos de que su actualización es fundamental para dar entrada a alguna tecnología digital, también en el transcurso de las discusiones, los integrantes del CPT han reconocido que subsisten temas difíciles de concertar, entre ellos, los relacionados a las facultades del órgano regulador, la apertura del sector a la inversión extranjera, la interconexión y la definición de dominancia, entre otros.

La reforma a ésta ley, se vuelve un asunto complicado, debido a los intereses que también están de por medio. Sin embargo, se pretende obtener definiciones concretas, para evitar conflictos futuros. Por ahora, continúan trabajando los integrantes de la CPT.

En torno a la LFRyT (Ley Federal de Radio y Televisión), también continúan debatiendo y analizando la situación de los medios electrónicos. De acuerdo con los legisladores, es posible que las reformas a esta ley se determinen después de las modificaciones realizadas a la Ley Federal de Telecomunicaciones, debido a que se requiere de un análisis más profundo de la LFRyT.

Legalmente, este es el actual panorama de los medios electrónicos, por lo cual, es fundamental que sean definidas tanto LFRyT como la LFT, para poder dar entrada a los adelantos tecnológicos, especialmente en la radiodifusión, en los sistemas de radiodifusión digital.

Para ambas leyes, los desarrollos tecnológicos representan un reto jurídico. Por ello es esencial que realmente se logren consensos, pues de esta manera se pueden contrarrestar los conflictos que inevitablemente se producirán. Particularmente en la LFRyT se prevé que será más complicado llegar a acuerdos, debido a la existencia de temas tan complejos como, por ejemplo, la negociación de los tiempos oficiales, sobre reglas de competencia en radio y televisión, entre otros.

Existen presiones y probablemente continuarán, sin embargo, son situaciones que de antemano se preveían. Por esta razón, hay una importante expectación por el rumbo que puedan tomar las negociaciones legales en esta materia.

## 2 Aspectos de Propagación y Cobertura

### 2.1 Propagación

Las ondas electromagnéticas dentro de la atmósfera se propagan con distintas trayectorias; la trayectoria de línea de vista, la onda reflejada en tierra, la onda de superficie y la onda de cielo, entre otras.

Para la propagación de la onda terrestre la señal recibida puede considerarse como una reproducción retrasada y atenuada de la señal transmitida. A distancias mayores (típicamente

superiores a 150 [km]), la comunicación por ondas decamétricas depende de la propagación de las ondas ionosféricas. A diferencia de la onda de superficie, la onda ionosférica se recibe con una intensidad muy variable y dependiente de la frecuencia, la hora del día, la estación, la actividad solar y el emplazamiento geográfico. Además de estas variaciones, las ondas ionosféricas pueden degradarse por varios motivos, llegándose a interrumpirse las comunicaciones por las tormentas ionosféricas, por la existencia de un gran número de trayectos de propagación posibles que se traducen en la dispersión temporal de la señal, por niveles elevados de interferencia, por desvanecimientos intensos y rápidos, y por dispersión de las frecuencias de las señales de banda ancha.

A pesar de estos inconvenientes, las ondas decamétricas siguen siendo el soporte de comunicaciones preferido para muchas aplicaciones, gracias a que su baja potencia de transmisión puede proporcionar en muchas ocasiones comunicaciones de un alcance muy largo (sin necesidad de utilizar repetidores ni satélites) siempre que se utilicen frecuencias de transmisión adecuadas.

El adoptar el sistema DRM implica tomar en consideración la propagación de estas ondas para ello se ha incluido en el diseño distintos modos de trabajo, (A, B, C y D) los cuales permiten trabajar con un sistema flexible que se adapte a las distintas problemas que puedan presentarse.

Una de las características más importantes del sistema DRM, es la conmutación automática de frecuencia (AFS), que permite al receptor cambiar la frecuencia que llevaba un programa particular, con esta opción es posible tener trabajando el sistema con un cierto modo en el día y otro en la noche, donde se presentan los cambios más abruptos en las transmisiones DRM.

Si hablamos de IBOC, la propagación de las señales sigue los mismos lineamientos de la radiodifusión actual, para IBOC FM no hay mayor problema los efectos de desvanecimientos propagación multitrayectoria y efecto doppler se controlan con el uso de la COFDM.

Pero en IBOC AM la situación es distinta pues como sabemos la propagación en estas bandas es distinta, durante las horas del día, las señales que interfieren llegan vía la propagación de la onda terrestre, pero en la noche cuando la capa D de la ionosfera desaparece existe interferencia adicional por la onda de cielo. Incluso en ausencia de estaciones que interfieren, la banda de AM produce un número importante de degradaciones presentes en la señal recibida. Algunos son causados por las estructuras conductoras puestas a tierra, como los puentes, y las líneas de energía, encontradas a lo largo de las carreteras. Estas debilitaciones pueden causar cambios rápidos en la magnitud y la fase de la forma de onda de AM. La propagación de las señales de AM se afecta en parte porque la longitud de onda es grande comparada a las dimensiones de las estructuras.

Una característica importante de cualquier sistema de radiodifusión digital de IBOC es la capacidad de proporcionar los servicios analógicos existentes y mejorar la calidad de audio. Sin embargo, para cumplir con esto un requisito será procurar interferencia mínima causada por la señal digital al audio analógico así como a estaciones vecinas. En este momento IBOC AM no se recomienda. Pues la recepción de la onda de cielo no ha sido compatible. Trayendo consigo problemas de interferencia con el primer y segundo canal adyacente.

La forma de onda digital emplea un gran número de subportadoras ortogonalmente esparcidas a lo ancho de una banda de 30 [kHz] centrada en la señal de la portadora de AM. Los niveles de potencia de la señal digital son inferiores a los valores limitados por la FCC para el desbordamiento en los canales, las pruebas de laboratorio y los ensayos sobre el terreno que se llevan a cabo en estos momentos, incluyen todas las formas de interferencia de señal y se están probando detenidamente (digital a huésped de AM, huésped de AM a digital; cocanal y canal adyacente de AM a digital, digital a AM y digital a digital cuando no se trate de radiodifusión simultánea).

Por el momento IBOC AM confía en la propagación de la onda terrestre que ha trabajado con éxito alrededor del contorno de los 2[mV/m]. Se ha recibido con éxito con las fuerzas del campo de hasta sólo 0.6 [mV/m].

En la banda L existen prácticamente todas las trayectorias, pero algunas son prácticamente imperceptibles, de hecho las únicas a tomar en cuenta en este rango de frecuencias son la trayectoria por espacio libre o línea de vista y la reflejada a tierra, ya que en frecuencias de VHF y superiores, la ionosfera se hace transparente. Se emplean antenas muy elevadas y directivas. La cobertura se encuentra limitada a algunas decenas de kilómetros, si bien en ciertas aplicaciones es posible obtener alcances de los 300 [km] mediante difusión troposférica, ello a costa de emplear grandes potencias de transmisión.

Los efectos que sufren las señales, son similares a los de las emisiones FM: desvanecimientos propagación multitrayectoria y efecto doppler.



Fig. 2.1 Trayectorias de Propagación

Al optar por el proyecto Eureka-147 tenemos que observar el comportamiento de las señales en esta banda. Una de las características sobresalientes es la recepción libre de interferencia ya sea por propagación multitrayectoria o en los receptores de autos por efecto doppler causado por el movimiento del vehículo. Los rebotes provenientes de reflexiones de la señal en edificios o estructuras metálicas, árboles, etc., provocando una superposición de señales en la antena, la señal directa recibida más la reflejada, lo que provoca interferencias dependientes de la frecuencia. Por su parte el efecto doppler provocará desplazamientos de frecuencias muy notables debido a la pequeña longitud de onda.

Pero como Eureka utiliza el sistema COFDM, solo algunas se verán afectadas por estos fenómenos siendo las mismas desechadas por el receptor y utilizándose únicamente las que lleguen en forma óptima. Si a esto le sumamos la corrección de errores el resultado es una recepción siempre perfecta.

En un escenario de radiodifusión habitual siempre existen diferentes rayos que llegan al receptor. El hecho de recibir ecos de la señal principal puede causar un gran nivel de interferencia que impida la correcta recepción de la señal. Para evitar que los ecos afecten a la señal, normalmente se han empleado antenas receptoras directivas ya que las señales interferentes llegan en direcciones diferentes a la de la principal. El empleo de antenas directivas es sencillo en el caso de recepción fija pero no es factible en recepción portátil o móvil al no poder orientar la antena al transmisor.

En radiodifusión digital sonora se ha dado un giro a estas técnicas, no se pretende eliminar la recepción de ecos de la mayor forma posible sino que se intenta que los ecos se sumen a la señal principal para aumentar el nivel de campo en recepción. Para conseguir este comportamiento de los ecos en DAB se trabaja en redes de frecuencia única.

El modelo de propagación empleado para calcular la intensidad de campo en sistemas DAB en banda III (VHF) es el recomendado en el UIT-R P.370. En esta recomendación aparecen las curvas para la intensidad de campo superada en el 50% de las localizaciones para distintos porcentajes de tiempo.

El campo en un punto se obtiene a partir de las curvas, posteriormente se le aplican una serie de correcciones para tener en cuenta parámetros distintos a los empleados en el modelo, como por ejemplo la altura de la antena. Dado el carácter especial de las redes de frecuencia única, una vez realizados los estudios debe tenerse en cuenta el efecto de la combinación de las distintas señales en el punto de recepción.

También, es posible emplear el modelo recomendado en el UIT-R P.526. El operador del servicio, como es lógico, debe realizar simulaciones de cobertura previas a la implantación física de las estaciones transmisoras. Dichas simulaciones se usan para hacerse una idea de la cobertura que alcanzará la red con unas determinadas características, el operador debe jugar con distintos parámetros y modelos para conseguir depurar todo lo posible los resultados de las simulaciones.

Hasta hoy se tiene una idea limitada del comportamiento pues cada país tiene situaciones distintas, para ello hay que recurrir a la implementación del sistema y conforme la experiencia se verán los resultados y se podrán tomar las decisiones pertinentes.

## 2.2 Cobertura

Para Eureka 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.

Es posible y muy típico encontrarse en una red de difusión con repetidores de señal, estos puntos se encargan de recibir la señal de RF, al igual que cualquier otro receptor y volver a transmitirla. La misión de los repetidores es dar cobertura a una zona de sombra de la red. Habitualmente estas zonas presentan peculiaridades orográficas que imposibilitan la correcta recepción del transmisor o transmisores que cubren la zona colindante, además, no suelen ser muy extensas en una red ya totalmente implantada, por este motivo tampoco es habitual que la potencia de los repetidores sea elevada. La ubicación de repetidores en redes SFN no es algo trivial, ya que estos equipos no pueden estar a priori sincronizados. Los centros de transmisión deben ser controlados en todo momento por el operador de forma tal que la señal sea difundida asegurándose los requisitos de calidad y disponibilidad.

Por ejemplo en Europa ya no es previsible la completa sustitución de la tecnología analógica por la digital. Esta tecnología se estructura en bloques de frecuencias asociadas a redes de frecuencia única o en redes multifrecuencia y que respecto de su cobertura nacional, autonómica y local son las siguientes:

Cobertura nacional, la radiodifusión sonora digital terrestre explota bloques de frecuencias en los siguientes tipos de redes:

- a) Red FU - E, red de frecuencia única para programas nacionales sin desconexión territorial, utiliza el bloque 11B y el bloque 11D en Canarias.
- b) Red MF - I, red multifrecuencia para programas nacionales con capacidad de desconexión territorial.
- c) Red MF - II, red multifrecuencia para programas nacionales con capacidad de desconexión territorial.

Cobertura territorial autonómica, la radiodifusión sonora digital terrestre explota bloques de frecuencias en los siguientes tipos de redes:

- d) Red FU - xxx (xxx = siglas de la autonomía), red de frecuencia única para tres programas territoriales autonómicos sin desconexión territorial.

- e) Red MF – xxx, (xxx = siglas de la autonomía), red multifrecuencia para tres programas territoriales autonómicos con desconexión territorial.

Cobertura de ámbito local, la radiodifusión sonora digital terrestre explota la capacidad excedentaria de los bloques de frecuencias de la banda 195 a 223 [MHz]. No obstante, debido a la escasez de recursos espectrales y a la incompatibilidad radioeléctrica, algunas necesidades de cobertura local podrán ser satisfechas cuando se encuentre disponible la banda de frecuencias 1452 a 1492 [MHz].

Una de las mayores ventajas de la radiodifusión AM es la cobertura que alcanza debido a las características de propagación de las señales en esas bandas es por ello que DRM explota estas ventajas y puede trabajar con distintas coberturas, regional, nacional e internacional, como actualmente ya se trabaja en AM. DRM como Eureka 147 tiene la posibilidad de implementar SNF, y con ello aprovechar el espectro y tener una cobertura mucho mas uniforme.

Técnicamente esto es posible, solo será necesario ponerse de acuerdo en la forma óptima para regular o establecer los acuerdos necesarios para tal funcionamiento.

Para los radiodifusores, DRM significa que podrán transmitir en AM con una calidad equivalente a FM por un costo considerablemente inferior. Como la nueva tecnología se puede utilizar en los planes de frecuencias existentes, los radiodifusores podrán modificar y seguir utilizando sus transmisores actuales, siempre que sean relativamente modernos. Además AM digital utiliza el espectro mucho más eficazmente y permitirá reducir la potencia de los transmisores hasta un 25% conservando la misma zona de cobertura. Los radiodifusores también podrán transmitir programas en dos idiomas, lo cual es una ventaja en los países bilingües o en zonas fronterizas entre países que utilizan idiomas diferentes. Debido a su diseño robusto en contra de desvanecimientos, es posible funcionar con SFN, donde varios transmisores (geográficamente separados) todos difunden el mismo conjunto en la misma frecuencia. Esto permite cobertura robusta de una área grande.

Otra ventaja de una SFN es que proporciona una red muy eficiente energéticamente comparada a FM para la misma eficacia de cobertura. La necesidad de multiplexar requiere la coordinación cuidadosa entre los abastecedores y la infraestructura del transmisor. Este acercamiento se ha encontrado absolutamente factible en Europa, en donde la radiodifusión en general se ha organizado en un nivel nacional y se piensa para la cobertura nacional. Esto en contraste con EU en donde se prefiere la programación local.

La cobertura de las estaciones existentes de AM y FM, en referencia a los contornos limitados por la interferencia y por ruido, no será comprometida por IBOC debido a la señal digital en modos híbridos y digital. Es decir, el sistema digital debe proporcionar un área de servicio que sea por lo menos equivalente al área de servicio de las estaciones con señales analógicas mientras que simultáneamente proporcionar la protección conveniente para evitar interferencias con el cocanal y con canales adyacentes. Tal requisito asegura estabilidad del mercado en las áreas de servicio.

Los sistemas satelitales ya tienen asignada una cobertura, Sirius y XM en Estados Unidos y WorldSpace en Asia, África y próximamente en América. Además han realizado diversos acuerdos internacionales para poner en funcionamiento su servicio.

### **3 Aspectos Económicos**

El rango económico es uno de los puntos más sobresalientes por discutir, ya que dependiendo de las dificultades que este aspecto tenga, dependerá el éxito o fracaso del sistema de radiodifusión digital por adoptar

Hoy en día se ve un panorama con grandes dificultades por superar y es que el escaso desarrollo de la radio digital se debe a la incertidumbre que perciben todos los agentes participantes

(consumidores-usuarios, difusores y fabricantes). Aunque se recuperen las inversiones, el problema está en que para llevar a cabo la digitalización es necesario realizar esfuerzos de mercadeo en tres sectores industriales. Estos sectores son: productores de componentes y receptores; redes de transmisión y la industria de la difusión.

Desde el punto de vista de los consumidores una buena cobertura, unos contenidos atractivos con aplicaciones innovadoras y unos precios razonables son los factores clave para adoptar la radio digital. Esta situación se convierte en un círculo vicioso mientras la industria pospone sus inversiones hasta que no haya una situación de negocio clara. En términos económicos se percibe una situación desfavorable por muchos agentes. Las quejas más comunes se agrupan conforme a las expectativas del mercado de cada uno de ellos.

### 3.1 La Industria de la Difusión

Los mayores obstáculos de la industria de la difusión en relación con el desarrollo de la radio digital se fundamentan en:

- Ausencia de estrategia y de un modelo de mercado que haga rentable la radio digital para el comercio privado, dentro de una planificación del negocio en un horizonte razonable. El Reino Unido con Eureka 147 es una excepción a la regla
- No hay incentivos en el sector comercial para la migración de la tecnología analógica a la digital: las inversiones durante el período de simulcast no reportarán ingresos adicionales por parte de los oyentes y anunciantes.
- Recuperación del coste de las mejoras en infraestructuras: la financiación de la red de radio digital, transmisores y retransmisores no promete retornos financieros inmediatos.
- Financiación del simulcast y los costes de migración: principal problema para las estaciones pequeñas y locales, para alguna es insuperable.
- La escasez de frecuencias: no todas las estaciones actuales de AM y FM pueden proveerse de una frecuencia una vez implantada la radio digital si no se asigna espectro adicional.

Aunque se argumenta que moviendo las actuales emisoras AM y FM hacia la Banda-L, todas las compañías tendrían la misma oportunidad de competir ya que se estaría ocupando un espacio no saturado. En otras palabras, cada radioemisora puede entrar al mercado digital con iguales capacidades, donde la creatividad marcará la diferencia. Además, la desconexión analógica debería estar soportada por una estrategia que ponga de manifiesto los beneficios para cada agente implicado, como los siguientes:

- Difusor: puede reducir los costes de transmisión que se duplican en una situación analógica y digital.
- Administración: puede utilizar parte de la banda de FM liberando espectro radioeléctrico
- Fabricante: puede aprovechar una economía de escala, fabricando grandes series, vendiendo más receptores de radio y bajando precios.
- Consumidor: debe ser estimulado en la adquisición de terminales receptores.

Pero a muchos países esto no les conviene, ya que perderían su actual mercado que consiste en tener una competencia entre pequeñas y grandes radiodifusoras.

### En México

En México tenemos que visualizar todas estos problemas debido a las diversas condiciones en que se encuentran las radiodifusoras; es decir, la mayoría en lo que se refiere a México requiere una actualización en los sistemas con los que trabaja, independientemente de la tecnología de radiodifusión digital a adoptar.

Así que si se quiere adoptar alguna tecnología digital, es importante para los radiodifusores Iniciar el proceso hacia la digitalización, pues de esto depende el ofrecer un servicio de calidad de audio, al radioescucha.

Por principio, es conveniente contar con elementos digitales en las cabinas. Aunque el transmisor es una herramienta elemental que interviene para elevar la calidad del sonido de una estación, los estudios de transmisión y grabación son una parte muy importante.

Al convertir los estudios en digitales, (emplear equipo de procesamiento de enlace, el cual permite mantener la calidad de sonido que se genera en las cabinas, unidades de discos compactos, mini discos, discos duros de computadoras, consolas con características digitales, entre otros) el cambio no intervendrá en el tipo de tecnología que utilice para la transmisión. Es decir, no se opondrá a la señal de audio que sea necesario difundir.

De acuerdo con la CIRT, los siguientes datos muestran una evaluación de los costos de equipos digitales para estaciones de radio.

Equipo	\$USD
Cabina de Transmisión	120,000
Cabina de Producción	150,000
Cabina de Noticias	100,000
Centro de Cómputo Audio	5,000
Procesamiento de Audio	5,000
Enlace Estudio Planta	20,000
Planta de Emergencia	5,000
Aire Acondicionado	5,000
Unidad de Energía ININT	10,000
	Total 425,000

Tabla 3.1 Inversión para un Estudio Totalmente Digital

Equipo	\$USD
Cabina de Transmisión	20,000
Cabina de Producción	20,000
Centro de Cómputo Audio	5,000
Procesamiento de Audio	10,000
Enlace Estudio Planta	20,000
	Total 75,000

Tabla 3.2 Actualización Equipo de Estudios de una Emisora en Funcionamiento, para operar en modo digital

Equipo	\$USD
Procesamiento de Audio	10,000
Enlace Estudio Planta	20,000
	Total 30,000

Tabla 3.3 Operar en Modo Digital Utilizando su Actual Producción de Audio.

Para el sistema Eureka 147, se contempla que la inversión de la planta transmisora será compartida entre cinco estaciones, se tendría, si el costo por estación fuese de \$248,000 USD equivaldría a \$49,600 USD individualmente. Éste es el panorama general, donde se aprecian los elementos más importantes para llevar a cabo el proceso de recambio de la radiodifusión a la digitalización así mismo, su inclusión a la modernización.

<b>Equipo</b>	<b>\$ USD</b>
Transmisor de 500 [W]	120,000
Antena Alta Ganancia	8,000
Línea de Transmisión con Accesorios	7,500
5 Codificadores Compresores	20,000
Multiplexor par 5 canales	20,500
Interfase de Control por Computadora	3,000
Accesorios de integración	5,000
Torre soporte par antenas	30,000
Planta de Emergencia	5,000
Aire Acondicionado	10,000
Unidad de Energía Ininterumpible	20,000
	<b>Total 248,000</b>

*Tabla 3.4 Sistema Eureka 147, Equipo de Planta Transmisora para Operar 5 Estaciones en Banda L*

En este plano IBOC tiene ventajas pues no hay que olvidar que, además de proporcionar una transición más suave al utilizar una tecnología compatible con la radio analógica, los modelos de IBOC resultan relativamente baratos para los operadores. La razón está en que la señal IBOC no requiere su propia antena y algunos emisores analógicos de AM podrían ser adaptados al IBOC con un nuevo excitador y algunos accesorios por \$35.000 USD. El coste llega hasta los \$250.000 USD si la estación realiza una actualización completa. Para las estaciones de FM la inversión está en los \$110.000 USD si se requiere equipamiento para convertir el transmisor analógico en el nuevo digital, hasta los \$250.000 USD del cambio completo. La valoración de Ibiqity es aún más optimista, alrededor de \$ 75.000 USD cada estación.

	<b>FM Combinación en alto nivel, empleando el transmisor análogo</b>	<b>FM Combinación en Bajo nivel</b>	<b>AM</b>
Excitador IBOC	20,000	20,000	20,000
Transmisor	25,000 a 70,000	25,000 a 135,000	0 a 130,000
Modificaciones a la Antena			0 a 50,000
Equipos Auxiliares	17,000 a 68,000	2,000 a 20,000	2,000 a 20,000
Equipos de Estudios Digitales	1,000 a 30,000	1,000 a 30,000	1,000 a 30,000
Costo Total	63,000 a 188,000	48,000 a 205,000	23,000 a 250,000

*Tabla 3.5 Sistema IBOC Estimaciones generales*

### 3.2 La Industria Fabricante

La industria tiende a lanzar nuevos productos a unos precios finales altos. Precios medios y bajos no son considerados durante el despliegue inicial del mercado. Los regímenes regulatorios nacionales son determinantes, los fabricantes ven determinante la aparición de un mercado necesario para una producción de gran volumen y consecuentemente a unos precios más bajos.

Los receptores para Eureka 147 tienen un precio que va de desde 149 Euros (\$2,086 M.N) hasta 600 Euros (8,400 M.N), dependiendo si es un receptor doméstico, para auto o portátil (Anexo ).

Los receptores para sistemas satelitales están alrededor de 120 USD (\$1,320M.N) a 200 USD(\$2,200M.N), además de que en éstos es necesario pagar una cuota mensual por el servicio.

Si hablamos de DRM, apenas tenemos receptores prototipo y su precio oscila en los 600 Euros (\$8,400M.N). IBOC no ha lanzado productos al mercado pero se cree que costarán alrededor de 100USD (\$1,100M.N) lo cual sería muy bueno, ya que un factor de éxito para cualquier sistema de Radiodifusión digital, es la accesibilidad de los receptores a todo público.

Para que la radio digital tenga éxito tendrá que alcanzarse una masa crítica de oyentes iniciales. En vista del seguimiento del progreso que se hace en radio digital se han identificado tres criterios que marcan el umbral de la digitalización. Una vez que se alcancen estos objetivos, la digitalización se transforma en un proceso irreversible. Los criterios son:

- Disponibilidad de receptores. Se pretende que se pueda disponer de una variedad mínima de aparatos receptores de radio digital en tiendas y en centros comerciales de distribución. Para cada categoría de receptores: hi-fi; equipo de automóvil y radio portátil, se requiere que haya al menos un mínimo de tres modelos diferentes. Además, la oferta debería complementarse con receptores digitales para PC.
- Bajo precio de los receptores, en torno a 100 USD. Una prima del 50% respecto del precio más alto de un receptor analógico estándar en el mercado parece una cifra razonable. Estudios de mercado han encontrado que los consumidores están dispuestos a pagar una prima de entre un 30 a un 50% por una radio digital de autos y en torno a un 200% más en el caso de una radio portátil. Que los consumidores estén dispuestos a pagar y asumir una prima del 50% por una radio digital parece razonable, ya que no debería suponer un gran esfuerzo de marketing el convencer a los consumidores que los nuevos servicios y su mayor calidad no estarían disponibles sin ningún tipo de inversión.

### 3.3 Los Radioescuchas

Insuficiente grado de conocimiento. La radio digital es virtualmente una desconocida para la gran mayoría de oyentes en Europa que es donde está funcionando. Los precios de los receptores son muy altos, los que conocen de cerca la radio digital ven los receptores a un precio exorbitante comparado con los precios de los receptores analógicos convencionales.

No hay suficientes beneficios para los oyentes, una mejora en la calidad de la recepción por sí misma no es una de propuesta convincente en favor de la radio digital. Al final un número limitado de canales nuevos y exclusivos digitales son esenciales para la estrategia de despliegue de la radio digital.

Hay un efecto de distracción de otros productos electrónicos, en el presupuesto doméstico de los oyentes, la radio digital compite con una amplia variedad de dispositivos de comunicación y entretenimiento digitales, por ejemplo, teléfonos móviles, TV digital, DVD.

Otro factor importante es la cobertura de los servicios, la radio digital alcanza el éxito únicamente si un mínimo de dos tercios de la población tiene acceso continuo desde su casa a la radio digital, lejos de casa incluso en el auto. Si estos tres requisitos se cumplen en cualquier sistema de radio digital, la masa crítica de escuchantes necesaria para tener un mercado dinámico y en movimiento puede alcanzarse en un período de tiempo de entre tres y cinco años. En el 2003, ningún sistema de radio digital cumplió estos tres criterios en el mundo. Hasta la fecha únicamente se han cumplido dos de estos criterios en el Reino Unido, así como en Canadá: el de disponibilidad de receptores y cobertura poblacional. La radio digital por satélite está aún lejos de cumplir dos requisitos, el de variedad de receptores disponible y el del 65% de cobertura.

## Capítulo VI: Estado Actual de Implantación de la Radiodifusión Sonora Digital

Mediante los sistemas de radiodifusión sonora digital, se reconoce el progreso que están obteniendo las estaciones de radio en distintas partes del mundo. Así a través del reordenamiento, la renovación en la producción y distribución, la instalación de estaciones transmisoras se está transformando y los cambios son superiores a los obtenidos por los sistemas analógicos. Para la radiodifusión, su futuro está en la transmisión digital y ciertamente en el siglo XXI, los sistemas de radiodifusión sonora digital serán de uso común.

Actualmente, los sistemas destacados propuestos para brindar servicios de radiodifusión digital son: Sistema Eureka147, el Sistema IBOC, el Sistema DRM, los Sistemas DARS y WorldSpace.

El sistema europeo, a pesar de seguir prosperando en diferentes países, continúa con el problema de aceptación del público. Aunque es una tecnología prometedora, para la gente no ha sido lo suficientemente interesante. Por ese motivo, en Europa siguen con la estrategia de la introducción de Eureka 147, además a través de estudios de aceptación, investigan cuáles son las principales necesidades de los usuarios, para determinar qué características deberá tener el servicio en general, sobre todo, en el receptor para hacerlo interesante al público. Conjuntamente, analizarán la forma de introducir los receptores, esforzándose en reducir su costo, que va desde 149 Euros (\$2,086 M.N.) hasta 600 Euros (\$8,400 M.N.).

En IBOC los problemas técnicos siguen manifestándose, especialmente en la banda de AM, por lo que las estaciones han determinado que no emplearán IBOC en AM hasta que se compruebe su éxito. Por esa situación en EU están preocupados por el porvenir de IBOC. Actualmente buscan alternativas para solucionar las dificultades de IBOC en AM. Iniciarán nuevos planes estratégicos para el avance de este sistema, ya que los anteriores no lo han logrado concretar.

### 1. Alrededor del mundo

La mayoría de países europeos ha adoptado el estándar Eureka 147 DAB, aunque el desarrollo se ha realizado a ritmos distintos y ha dependido de aspectos tecnológicos, de mercado y de orden político. A mediados de los 90 se iniciaron las pruebas experimentales y, en general, los servicios públicos de los países europeos recibieron el dinero suficiente para empezar la aventura del DAB. En el proceso de experimentación, la implicación de las empresas privadas, por el contrario, resultó mínima. La posición escéptica de los radiodifusores privados puede resumirse en un problema de costos derivado de la reconversión y en la incertidumbre de qué beneficios económicos reportará el cambio digital. Otra dificultad para la consolidación del DAB tiene su origen en la falta de decisión acerca del apagón analógico. Esta medida, no adoptada en muchos países, resulta imprescindible para acelerar el proceso de sustitución de los aparatos receptores analógicos actuales. Igualmente, la cobertura de la señal digital presenta grandes desigualdades en los distintos países.

A finales de 2003 iba desde el 100% de Singapur al 2% de China, alcanzaba el 95% del territorio de Bélgica, el 85% de Israel y Suecia, el 70% de Portugal, el 65% de Alemania, el 50% de España y Noruega, 35% de Canadá, el 25% de Francia ó el 19% de Austria.

La implantación de los distintos servicios, también, se presenta de manera muy desigual. Uno de los países más avanzados es Singapur que empezó las emisiones digitales regulares en noviembre de 1999. La compañía MediaCorp Radio Singapore conocida como Radio Corporation of Singapore (RCS) desarrolló siete programas basados en la música de varias culturas (Japonesa, China, Coreana e Índia) y servicios de noticias e informaciones financieras. En el último año más de 230 millones de personas en el planeta han podido recibir los 400 servicios distintos del DAB, según los datos de World DAB Forum, aunque las posibilidades de captar la señal y los servicios digitales son mayores que hace unos años, debido a los progresos en adjudicar las licencias en

los distintos países o en el incremento de las coberturas, en la actualidad, el parque de receptores digitales continúa siendo simbólico y los oyentes reales son escasos.

La norma europea no convenció a los norteamericanos, a pesar de considerar que el sistema DAB era un sistema viable y eficiente técnicamente para las emisiones terrestres y vía satélite, prefirieron desarrollar su propio estándar. Los radiodifusores veían como un problema la nueva asignación de frecuencias que exigía el sistema. El desarrollo del IBOC complicó los planes para la introducción del DAB en algunos países como ocurrió con México.

Las peculiaridades del sistema IBOC tienen importantes ventajas para los radiodifusores norteamericanos, debido a que la transición hacia la digitalización es compatible con el sistema de difusión actual y no es preciso compartir los radiotransmisores mediante el múltiplex. Además, las estaciones pueden disponer la misma frecuencia actual. Las características técnicas del IBOC permiten elevar la calidad de la señal en AM equiparándola a la actual transmisión de FM y la del actual FM a una calidad de CD.

En el último período, una vez resueltos los problemas de interferencias y calidad de la señal, la FCC ha dado nuevos pasos para adoptar el IBOC desarrollado por Ibiquity Digital Corp. Las pruebas con equipos de transmisión se realizaron a mediados de 2002 y la previsión es disponer de aparatos receptores durante el 2003 a un precio inferior a los 100 dólares. Grandes empresas del sector como ABC, Clear Channel Communications, Viacom, Harris Corp, Lucent Technologies y Texas Instruments han invertido en el sistema Ibiquity. Entre los países interesados en el sistema norteamericano se encuentra México.

Con relación a las emisiones de AM, en 1998 se creó el consorcio DRM con sede en Suiza para favorecer un estándar digital destinado a las emisiones situadas en la banda AM. En el sistema europeo, las emisoras de FM tienen una transición hacia el DAB y los radiodifusores que utilizan AM podrían disponer de una posibilidad para la reconversión digital con el nuevo estándar para AM, DRM está disponible desde el 2003.

La situación actual de la radiodifusión digital, con ofertas variadas y abundantes, no incita a un cambio de receptor y a las emisiones digitales implementadas hasta el momento. Las ventas de receptores en todos los países europeos son casi inexistentes, a pesar de los anuncios de los fabricantes para abaratar los precios de los receptores año tras año. En la mayoría de países, las emisoras públicas han impulsado los ensayos de los nuevos servicios, siendo mucho menor la participación activa de las emisoras comerciales. Una de las experiencias más desarrollada es la impulsada desde la BBC. La BBC emite en simulcasting los 5 programas nacionales en su múltiplex, junto con el World Service, Five Live Sports y Radio 4. En el 2002 se lanzaron tres nuevas programaciones digitales dos de ellas destinadas a la música y la otra "spoken word" al entretenimiento, recuperando la emisión de piezas teatrales. Igualmente, la BBC ha lanzado un "teletexto" para la radio con informaciones y datos llamado BBC Vision Radio y el T-PEG Service dedicado a proporcionar información de las carreteras y el tráfico. En Gran Bretaña el DAB cuenta con un mayor desarrollo debido a la iniciativa pública y a la participación de las empresas privadas. Digital One ha lanzado 10 estaciones comerciales en DAB: Classic FM, Virgin, Talksport, Core, Planet rock, Life, Primetime, Bloomberg, ITN News y Oneworld. Esta empresa suministra un canal de datos, Digizone, destinado a servicios de juegos interactivos de Cartoon Network, noticias de ITN, material para añadir a la música clásica y otros servicios interactivos. Igualmente, siete múltiplex de ámbito regional/local están operando.

En Suecia la Radio Pública ha adoptado el DAB en sus emisiones y se ha centrado en los formatos tradicionales que incluyen programas nacionales, locales y regionales que simultáneamente manejan las emisiones en analógico. Éste es el caso de la emisora de FM dedicada a los inmigrantes de Estocolmo que ahora se transmite para todo el país por medio del DAB. En el terreno más innovador se puede destacar una radio SR Demo con un formato sin interrupciones de música producida por músicos jóvenes suecos, donde se les da la oportunidad de disponer de un

canal de difusión en su trabajo y donde se estimula la participación de la audiencia a través de los teléfonos.

En Bélgica se lanzó el DAB en 1997. En la actualidad, el servicio público flamenco VRT cuenta con un múltiplex que cubre el territorio flamenco con 7 estaciones de radio, la mayoría de ellas operando en simulcast con la programación analógica y con un único programa específico para el soporte digital el DABKlassiek especializado en música. El servicio público RTBF opera en francés, cubre la comunidad francesa y produce un canal digital, RadioTrafic con un formato de música e informaciones acerca de la circulación suministradas por el Ministerio Francés de Transportes.

En definitiva, en la mayoría de países se encuentran con emisiones en simulcast y por lo tanto emitiendo la misma programación concebida para el soporte analógico. Las programaciones digitales no han logrado encontrar formatos específicos y las apuestas se circunscriben a pequeñas variaciones de los formatos conocidos. Estamos en un período similar a los inicios de FM cuando los radiodifusores, sólo reemitían su programación convencional de AM en FM, debido a la escasez de implantación del sistema. En el caso de los servicios de valor añadido las propuestas no han sido muy creativas y se encuentran en fase de experimentación en muchos lugares. Pero además, prácticamente no han llegado a los usuarios por la escasez de aparatos. Entre los distintos servicios podemos destacar, las radios francesas Cofiroute destinada a los automovilistas que han propuesto un servicio de información asociado a un sistema de guía por GPS o Europe 1 con un servicio de ayuda a los automovilista de la región parisina. La importancia de la escucha en el automóvil es una realidad y los servicios de ayuda a los automovilistas parecen del todo acertados, pero su implantación es residual.

### 1.1 Situación de Eureka-147

La DAB Eureka 147 es la tecnología de digital radio más desarrollada mundialmente. Muchos países europeos la han adoptado como estándar y están implantando esta tecnología de radio digital terrestre.

#### ➤ Reino Unido

Servicio y cobertura. La BBC está promoviendo la difusión digital desde 1995 y da cobertura al 60% de la población. La cobertura se supone que ascenderá hasta el 80% a finales del año 2004; Digital One, principal red comercial, proyecta esta misma cobertura para sus servicios.

Los principales actores son: la BBC y Digital One, tanto por contenido como por red de transmisión. A nivel regional y local prestan servicio otros operadores de múltiplex. En 2001, el gobierno del Reino Unido dotó a la BBC de los recursos financieros necesarios para establecer cinco canales digitales. Digital One ofrece, además de diez canales radio, un canal multimedia de noticias, información y juegos. Los difusores han aceptado por consiguiente la hipótesis de que en la introducción de la radio digital el contenido es el que condiciona la demanda. Digital One considera que la combinación entre comunicaciones móviles de tercera generación (3G) y difusión digital es particularmente prometedora, dado que algunos servicios pueden suministrarse de forma más eficiente por DAB que por 3G y que la emisión en los dos sistemas puede generar sinergias. Un modelo apropiado para DAB/3G, sin embargo, está todavía por desarrollarse. Digital One considera la síntesis de lo "móvil y portátil" como la propuesta de negocio más prometedora.

La situación de los receptores. Durante el año 2002, la disponibilidad de aparatos receptores estaba restringida a comercios especializados del tipo accesorios del automóvil y a tiendas de alta fidelidad. La ausencia de receptores a bajo coste se percibe como un factor crítico para la digitalización de la radio. A finales de año 2003, Goodmans (un fabricante del sector del entretenimiento) anunció la introducción de receptores a un precio de entre 100 y 200 libras. Las negociaciones en curso entre comerciantes minoristas se está interpretando como señal de que los receptores DAB se venderán muy pronto en grandes almacenes y pequeños comercios. Algunas

compañías radio han formado el consorcio "Digital Radio Plus". Estas compañías no subvencionan aparatos, pero garantizan líneas de producción. Por lo tanto se espera que en breve aparezcan en el Reino Unido equipos de radio digital a 100 libras.

La situación administrativa. El gobierno del Reino Unido autorizó a la BBC a desarrollar la radio digital y creó un sistema de licencia atractivo para los operadores comerciales. No se ha establecido todavía la fecha para la desconexión analógica; un posible marco temporal en torno al 2010 – 2015 ha sido el mencionado por el Ministro de Cultura. La nula penetración de la radio digital en los domicilios de los usuarios y su total equipamiento con receptores analógicos hace que el gobierno este indeciso a la hora de determinar una fecha para la desconexión analógica.

➤ Italia

Servicio y cobertura. En el noroeste de Italia (Valle del Po, Milán y Turín, y el área cubierta por la autopista A4) ha habido pruebas realizadas por difusores privados desde 1998, con cobertura en torno al 30% de la población. El difusor público RAI realiza pruebas de radio digital en las mismas áreas y tiene cobertura adicional y desigual en otras ciudades. En la provincia de Tirol Sur, y promovida por el difusor público local RAS, hay una cobertura en torno al 30%.

Los actores principales. La RAI juega un papel relevante tanto en transmisión como en contenidos. Opera un múltiplex y ofrece sus programas en simulcast. La RAI está activamente comprometida en la promoción de la digitalización, pero presuntamente hasta ahora no ha cumplido los acuerdos con el Gobierno Italiano. En cuanto a estaciones radio comerciales, sólo los miembros del Club DAB Italia (consorcio privado de ámbito nacional formado por difusores de FM) emiten parcialmente en digital. La falta de interés de otras estaciones se debe a la incertidumbre del marco regulatorio italiano y a la dramática falta de espectro para el DAB, respecto de la situación actual de la radiodifusión, consistente en 5 servicios de ámbito nacional de difusores públicos, 15 servicios de ámbito nacional y otros 1,100 servicios locales de difusores privados.

La situación de los receptores. En Italia no es posible comprar un receptor de radio digital. Los fabricantes y vendedores no quieren invertir en marketing mientras la cobertura de la DAB sea irrelevante.

La situación administrativa. El despliegue de la DAB es lento porque la prioridad está en la migración de la TV analógica a la digital. La renuencia política puede conducir a una situación en la que prácticamente solo quede la banda L para radio digital. En lo que afecta al espectro, la digitalización depende de la buena voluntad del gobierno en promocionar la radio digital además de la migración digital de la televisión. El conflicto entre televisión y radio se debe fundamentalmente al diferente nivel de ingresos que cada sector es capaz de obtener. Adicionalmente, la legislación sobre los medios no permite situaciones cruzadas, los difusores de ámbito nacional no pueden ser a la vez propietarios de emisoras de radio de ámbito nacional; en consecuencia, no hay intereses comunes entre radio y TV. La legislación tampoco permite compartir múltiplex entre socios públicos y privados al objeto de evitar la competencia desleal entre operadores de diferentes ámbitos (público / privado, nacional / local). En este contexto, es preciso hacer constar que el difusor público es competidor directo del sector privado en el mercado publicitario de radio y televisión. La legislación actual establece que la Autoridad de las Comunicaciones tiene que programar planes de frecuencias y un marco regulatorio adecuado para TDT y DAB.

➤ Francia

Servicio y cobertura. En enero de 1997, la TDF (TeleDifusión de Francia) instaló el primer transmisor DAB en París. TDF está difundiendo actualmente trece programas digitales por medio de dos múltiplex en la capital y por un tercer múltiplex con cinco canales operados por TowerCast. Los transmisores de TDF y TowerCast dan servicio a diez millones de personas en el área del Gran París, lo que supone en torno al 17% de la población de Francia. También hay redes de DAB operativas en Lyon, Marsella, Nantes y Toulouse. TDF opera dos múltiplex en Marsella, Nantes y

Toulouse, uno de ellos transporta seis canales de Radio France y el otro de cinco a nueve canales comerciales. En el 2003, alrededor de quince millones de franceses, el 25% de la población, han recibido regularmente transmisiones de DAB. La fragmentada cobertura regional del DAB se debe al hecho de que en Francia sólo la banda L está disponible para el DAB, lo que hace más difícil el desarrollo de una red nacional.

Los actores principales de las redes de transmisión son: TDF, filial al 100% de France Telecom, TowerCast, filial de Radio NDJ, y La Voix du Lyon, operador de red de la colectividad radio de Lyon. Con respecto al contenido, los actores principales son: el difusor público Radio France, el difusor comercial Europe 1 (propiedad de Lagardere, compañía multimedia) y los difusores RTL y Radio NRJ, aunque éstos son menos activos. La estrategia general sobre los contenidos consiste en ofrecer nuevos programas primero en París, donde hay diez millones de oyentes en potencia, y exportar aquellos programas que tengan éxito a la mayoría de las ciudades, no necesariamente a las que ya tienen cobertura digital.

La situación de los receptores. La FNAC, una gran cadena comercial, está vendiendo sintonizadores DAB Sony y Technics por medio de su página web.

La situación administrativa. A finales del 2001 se otorgaron nueve licencias DAB, pero de momento no hay legislación en vigor. La provisional ley Fillion concluyó y no se ha renovado a principios del 2002. La radiodifusión no puede comenzar hasta que los trabajos sobre su regulación no hayan terminado, lo que ya ocurrió en septiembre del 2002, debido a unas elecciones generales en el verano de este mismo año. No obstante, se espera que la nueva ley no sea provisional y que por consiguiente el DAB quede establecido firmemente. De entre los candidatos al éxito en el área de frecuencias de París algunos serán simulcast, pero también hay planes para desarrollar nuevos contenidos en áreas multimedia, servicios de datos y nuevos programas musicales.

#### ➤ Alemania

Servicio y cobertura. El marco regulador ha estado presente desde 1999, la asignación de frecuencias ha concluido en el 2000. La cobertura en el 2003 ha sido del 75% y crecerá en el 2004 hasta el 88% y en el 2005 alcanzará el 90%; la falta de cobertura se concentra en el norte. En el 2004 todas las autopistas federales tendrán cobertura. En el 2003, más de 150 estaciones están emitiendo, el 60% de ellas en simulcast, el 40% exclusivamente en digital; y en cualquiera de las principales ciudades hay disponibles al público entre 15 y 25 programas.

Los actores principales. El principal agente en cuanto a red de transmisión es la empresa Deutsche Telekom, aunque hay que resaltar que sólo ha mejorado el equipo de transmisión existente parcialmente, porque necesita garantizar sus ingresos o recuperar sus inversiones. Contenidos y características adicionales son ofrecidos por difusores públicos y privados, con alguna ruptura en líneas regionales. Los difusores públicos con licencias para establecer servicios digitales reciben 0.06 € al mes por abonado doméstico, pero algún difusor público, tal como Hessischer Rundfunk, prefiere evitar los costes iniciales y adopta un enfoque de esperar a ver qué pasa. ARD ha esbozado un papel estratégico en el 2003 dirigido al suministro de contenidos adicionales. ARD está organizada federalmente y en consecuencia no tiene una sede central para la toma de decisiones. Esta estrategia debería verse como una iniciativa importante, pero no puede compararse con el compromiso de la BBC en el Reino Unido. Las estaciones radio privadas son todavía reticentes dado que prevén un mercado con nuevos competidores, con costes adicionales, pero sin ingresos extra. En algunas partes de Alemania (Baviera) existe el planteamiento de digitalizar bajo la premisa de "ahora o nunca". Una vez que la radio digital esté implantada, ambos difusores, públicos y privados, operarán en iguales condiciones. Además, esperan que la radio digital debería llevarles hacia una nueva segmentación de la audiencia y a un incremento del mercado de la publicidad por radio.

La situación de los receptores. En el año 1998, las quejas fueron que no había definida una estrategia de marketing para su desarrollo. Desde el 2001 se han obtenido considerables

progresos: la "Initiative Marketing Digital Radio (IMDR)" unión de suministradores de red, fabricantes de receptores y la industria de difusión se concienciaron sobre la necesidad de promocionar la radio digital. La iniciativa se concentra en la revista PR, soporte de publicidad en antena y marketing on-line, que intenta romper el círculo vicioso que desde hace tiempo domina la radio digital. Actualmente el mercado de receptores está dominado por los fabricantes de las marcas Blaupunkt y Grunding, ambas forman parte de la iniciativa IMDR. En el año 2002 ha aparecido el modelo "Woodstok" de la marca Blaupunkt, promocionado a buen precio. La industria, no sólo está interesada en receptores digitales para automóviles, si no que esta línea de productos, aparentemente, está retrasando su producción en espera de una firme implantación de la radio digital.

La situación administrativa. Alemania es el primer país europeo que ha anunciado la desconexión analógica. La ha planificado para el año 2015. Esta declaración del Primer Ministro Gerhard Schröder puede cuando menos interpretarse como una señal dirigida al mercado. En algunos Länder, las licencias para nuevos programas sólo se conceden para transmisiones digitales.

➤ España

Las primeras radiodifusiones digitales en España comenzaron en abril de 1998 en Madrid, Barcelona y Valencia. Actualmente existen servicios en el País Vasco, Cataluña y Galicia.

El primero de marzo de 2000, el Ministerio de Fomento firmó un Convenio de colaboración con Radio Nacional de España para la realización del Proyecto de Especificación y Pruebas de un Sistema Experimental para el Desarrollo de la Radiodifusión Sonora Digital Terrenal. El desarrollo de este proyecto ha demostrado que, en verdad, no existen problemas de compatibilidad, ni hay problema técnico alguno que impida el normal desarrollo del DAB en España.

La implantación total de esta nueva tecnología se prevé a muy largo plazo, esto es, hacia el año 2026, sin la obligatoriedad de una desconexión analógica y ni siquiera de una sustitución de la tecnología analógica –frecuencia modulada FM- por la digital. Este planteamiento no es una exigencia para los difusores y tampoco es un incentivo para el desarrollo de la DAB, pero sí muestra la presencia de barreras en su implantación.

El Plan Técnico Nacional de la Radiodifusión Sonora Digital Terrenal establece que la implantación del servicio se hará en las siguientes fases:

FASE	ÁMBITO	RED (MÚLTIPLEX)	COBERTURA		DURACIÓN	
1ª	N	Frecuencia Única (FU).	50%	22 Capitales de Provincia	18 meses	Hasta julio 2001
2ª	A	Multifrecuencia (MF).			12 meses	
3ª	N & A	FU & MF.	80%	Poblaciones 50,000 Hab.	5 años	Hasta julio 2006
4ª	N & A	FU & MF.	95%	Poblaciones 5.000 Hab.	20 años	Hasta julio 2026

Fig. 6.1 Artículo 7 Fases de Introducción

El Plan Técnico Nacional de la Radiodifusión Sonora Digital Terrenal también establece que en la explotación del servicio se emplearán los bloques de frecuencias siguientes:

BANDA	BLOQUES	RED (MÚLTIPLEX)	COBERTURA
195 a 216 MHz	8A a 10D	Multifrecuencia	Nacional (MF-I y MF-II) y Autonómica (MF-XX) (con desconexión territorial).
216 a 223 MHz	11A a 11D	Frecuencia Única	Nacional (FU-E) y Autonómica (FU-XX) (sin desconexión territorial).
1452 a 1467,5 MHz	LA a LI	Frecuencia Única	Local (FU-YY).
1467,5 a 1492 MHz			Local.

Fig. 6.2 Artículo 1 Bandas de Frecuencia

La red de frecuencia única (FU-E), o múltiplex nacional sin desconexiones, transmite seis programas, en toda España, cuatro programas de Radio Nacional y otros dos de emisoras privadas.

Las redes multifrecuencia MFI y MFII, o múltiplex nacionales que permiten desconexiones territoriales, transmiten dos programas de Radio Nacional y otros cuatro de emisoras privadas en MF-I y seis programas de emisoras privadas en MF-II. Se han planificado también múltiplex autonómicos. Cada Comunidad Autónoma tiene asignados dos múltiplex con 6 programas cada uno de ellos. La propia Autonomía podría reservarse hasta 3 programas, y los otros 3 asignarlos a concesionarios. En resumen, se dispone por tanto de tres múltiplex nacionales, con un total de 18 programas, actualmente en funcionamiento, y otros dos múltiplex, con un total 12 programas, pendientes de los correspondientes concursos.

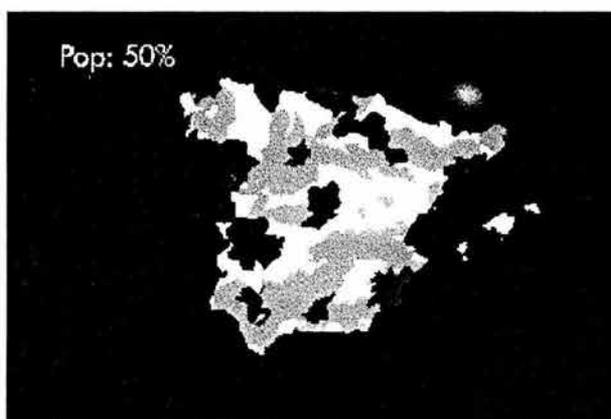


Fig. 6.3 Cobertura en España

*Estado Actual de los Servicios Eureka-147 DAB*

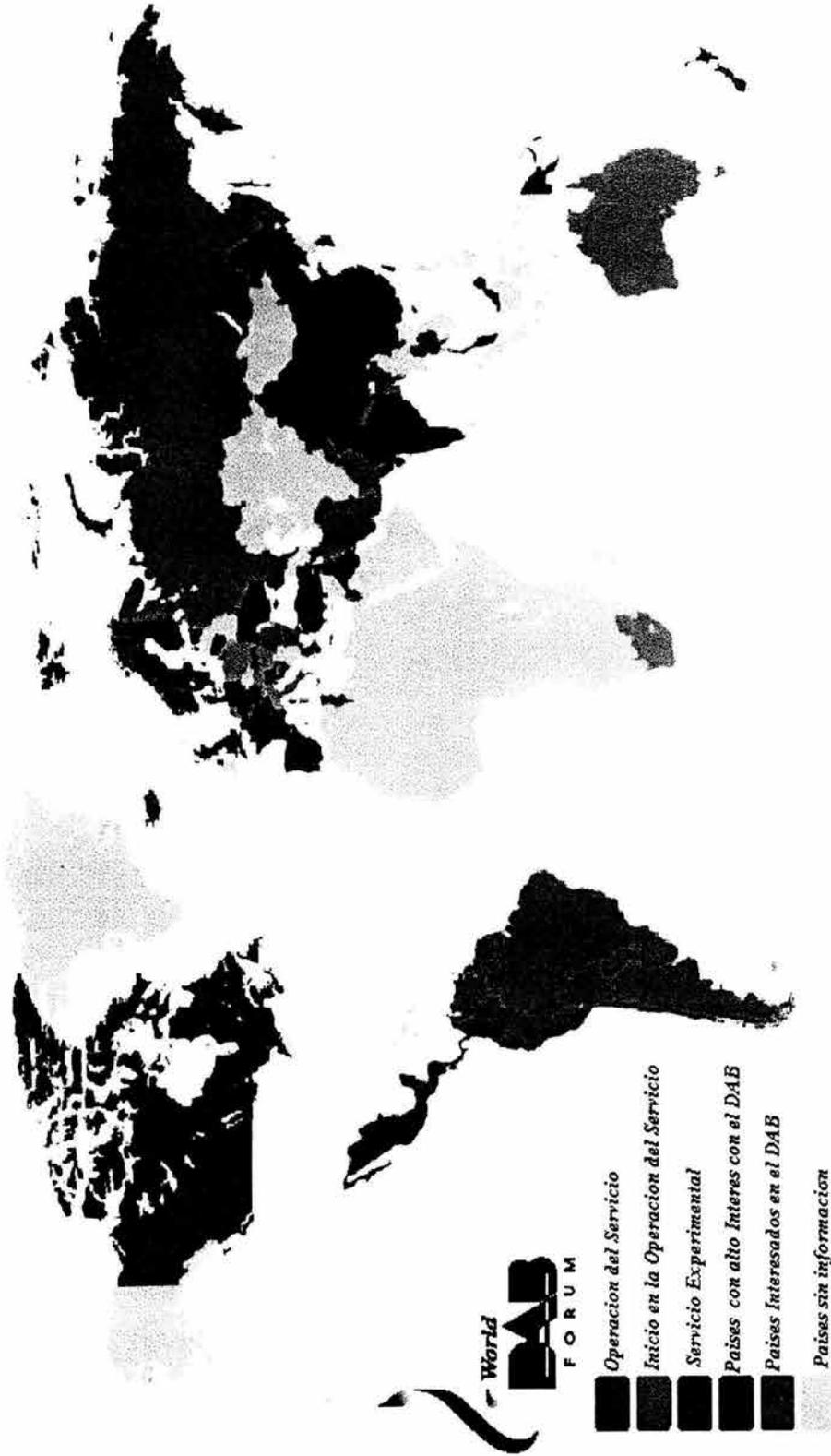


Fig. 6.4 Cobertura Mundial del Sistema Eureka 147

A pesar de que el sistema Eureka 147 ya tiene bastante tiempo operando en Europa, todavía no ha tenido el impacto que se esperaba, pues el público ha demostrado poco interés por este sistema. Esto se debe en primer lugar, a la existencia de una gran cantidad de servicios digitales de entretenimiento y en segundo al precio de los receptores para el hogar y el auto que aún es muy elevado.

El sistema europeo, a pesar de seguir prosperando en diferentes países, continúa con el problema de aceptación del público. Aunque es una tecnología prometedora, para la gente no ha sido lo suficientemente interesante. Por ese motivo, en Europa se sigue con la estrategia de introducción del DAB, a través de estudios de aceptación, investigan cuales son las principales necesidades de los usuarios, para determinar qué características deberá tener el servicio general, sobre todo, en el receptor para hacerlo interesante ante el público. Conjuntamente, analizan la forma de introducir los receptores, esforzándose en reducir su costo. El precio actual oscila entre 500 y 1500 dólares americanos.

### **1.2 Situación Actual del Sistema IBOC**

Ya se realizó la aprobación oficial por parte de la FCC del sistema IBOC como la norma obligatoria para el traspaso definitivo en Estados Unidos. Al parecer, esta decisión gubernamental no sólo allana el camino para la expansión digital en este país, sino que posibilita la apertura del sistema en América Latina, donde hasta el momento las pruebas han sido escasas por la baja popularidad del cambio.

El sistema IBOC focaliza las oportunidades que dejará el envío de material informativo por los canales de audio, como datos sobre la emisora, los artistas y las canciones, el estado del tránsito, noticias y cualquier otro informe que pueda ser bajado a través de los receptores, hoy disponibles en Estados Unidos a un precio que oscila aproximadamente en \$100 USD (\$1100M.N).

Asimismo, las grandes firmas de la industria automotriz, como Microtune y Sanyo, ya comenzaron a adquirir la licencia de IBOC para la fabricación de equipos digitales motorizados por la incipiente demanda que generó la aprobación oficial del sistema. También se busca incrementar su potencial de ventas ofreciendo un paquete de servicios de los datos inalámbricos.

El diseño de mercado flexible garantiza una buena transición al minimizar los costos de implementación por la utilización de la infraestructura de excitadores, antenas, torres y estudios existentes. Aun cuando una estación requiera un nuevo excitador digital, la tecnología permite actualizar el equipo en uso con mínimas modificaciones o reemplazos. Según ibiquity, la inversión parte de los 30 mil dólares y puede llegar a los 200 mil de acuerdo con la tecnología disponible.

### **Programa de Incentivos para el IBOC**

Ibiquity ha anunciado un programa de estímulos para que los radiodifusores de AM/FM de Estados Unidos, se conviertan a la radiodifusión digital usando la tecnología HD Radio en el 2003. Según información de Ibiquity, en el 2002 más de 130 estaciones en 40 mercados de 26 estados firmaron licencias para convertirse a digital.

Las iniciativas para el 2003 fueron:

- Las primeras 125 estaciones comerciales beneficiadas para formar parte de las licencias acordadas después de Febrero 2003 contaron con una licencia de audio limitada por primera vez por un máximo de USD\$5,000 (\$55,000 M.N).
- Todas las estaciones que no son comerciales y que no se han utilizado para este sistema tuvieron que formar parte de las licencias acordadas o antes del 30 de Junio del 2003 con la demostración dada establecieron renunciar o no, a dichas licencias temporales.
- Todos estos alicientes y facilidades son eventuales sobre las estaciones con permiso, para mejorar los esfuerzos comerciales, se centraliza en:

- i) Comenzar la radiodifusión digital para el 30 de Junio del 2003
- ii) Continuar transmitiendo en el formato digital al menos hasta el 31 de Diciembre del 2004.

### **Compañías en el desarrollo de IBOC**

La Corporación Digital Ibiquity, la única compañía que ha desarrollado y posee la licencia de la tecnología de radio digital "Radio HD™", en el mercado de Estados Unidos cuenta con más de 130 estaciones que han obtenido la licencia para utilizar esta tecnología e implementarla a lo largo de este año.

La tecnología digital del Ibiquity, permite la transmisión de una señal que mejora radicalmente la calidad de audio de las difusiones existentes de AM/FM, a la vez que también permite una mayor interactividad con los consumidores. "Hemos desarrollado la tecnología de Radio HD para apoyar a los radiodifusores en sus actividades para proporcionar un medio de entretenimiento competitivo en un mundo que es ahora digital".

Sólo en la ciudad de Chicago, recientemente anunciaron que dos estaciones de radio Clear Channel de Chicago son las primeras en dicha ciudad que realizan la transición hacia la transmisión digital utilizando la tecnología de Radio HD.

Las estaciones de radio son WNUA: (FM 95.5) que transmite jazz suave y "V-103" (WVAZ-FM 102.7) con formato de música urbana adulto contemporánea. Ambas estaciones transmiten desde un nuevo transmisor, utilizando la nueva tecnología de Radio HD basada en el sistema IBOC, para difundir de manera simultánea la radio analógica tradicional y la nueva radio digital de calidad superior.

Añadir la tecnología de Radio HD a las estaciones proporciona a los oyentes la oportunidad de recibir un audio de mejor calidad e información digital adicional con la ayuda de los nuevos receptores de Radio HD. Según informaron, los receptores deberán estar disponibles para la venta al público a partir de este año.

Harris Corporation, proveedor de equipos de transmisión digital para radio y televisión de la industria del Broadcast, presentó sus soluciones de transmisión digital para radios basados en la tecnología norteamericana IBOC DAB, la cual se proyecta como una de las más innovadoras del mercado, aportando importantes beneficios para los operadores de estaciones de radio

Una de las principales ventajas de la tecnología de transmisión digital IBOC DAB es que permite la transmisión simultánea en sistema analógico, utilizando la misma frecuencia, lo que permitirá a los usuarios finales seguir utilizando sus radios sin necesidad de cambiarlas. Por otra parte, aquellos usuarios que adquieran receptores digitales podrán disfrutar de una señal de excelente calidad, además de aplicaciones como mensajes en forma de texto que aparecerán en la pantalla del receptor, noticias, el estado del tiempo, condiciones del tránsito, entre otras informaciones, lo que aportará mayores ingresos en publicidad para las estaciones.

Para los auditores, el paso de la radio analógica a la digital será gradual, ya que la disponibilidad de los nuevos receptores irá en aumento durante un período de transición el cual se estima dure entre ocho y diez años.

A diferencia de otras tecnologías digitales para radioemisoras, IBOC se caracteriza por permitir a las radioemisoras digitalizar sus sistemas de transmisión, manteniendo la misma frecuencia y el mismo canal que utilizaba con el sistema analógico.

Esto es muy importante porque le permite a las radioemisoras seguir transmitiendo en el mismo canal, lo cual implica un importante ahorro en publicidad, ya que un cambio de este tipo significaría iniciar toda una campaña para informar a los auditores dónde deben sintonizar la radio ahora.

La división Intraplex de Harris Corporation presentó el sistema SynchroCast, cuya tecnología permite a las radioemisoras FM expandir exponencialmente su cobertura mediante múltiples transmisores sincronizados, los cuales operan en la misma frecuencia.

Mediante el sistema satelital GPS (Global Positioning System), esta tecnología permite a las radiodifusoras mantener sincronizados y en una misma frecuencia sus múltiples transmisores, abarcando un mayor territorio geográfico.

Con SynchroCast, las radio emisoras pueden mantener una amplia red de estaciones con un mínimo de frecuencias y al mismo tiempo le permite al auditor mantenerse sintonizado en la misma frecuencia durante su viaje sin la necesidad de re-sintonizar

Por otro lado el 4 de septiembre del 2003 la compañía radiofónica norteamericana WNYC está haciendo algunos ensayos que se califican como la mayor revolución para la radio después de FM. Las pruebas que desarrolla WNYC se centran en una tecnología denominada IBOC en desarrollo desde hace varios años- y que pretende conseguir el equivalente radiofónico a la televisión de alta definición.

Muchos piensan que la extraordinaria calidad de sonido podría ser la principal ventaja de esta radio de alta definición. Sin embargo, se piensa que esta ventaja no será el principal argumento para "vender" este nuevo modelo de radio.

Lo verdaderamente novedoso e interesante es que esta nueva tecnología podrá permitir a las estaciones de radio dividir su señal, con lo que obtendrán un segundo canal bajo una misma frecuencia y podrán emitir también datos. Para recibir ese segundo canal, los usuarios deberán tener también un nuevo aparato de radio, ya que aunque algunos fabricantes, como es el caso de Kenwood, han desarrollado aparatos de radio que pueden recibir señales divididas, estos fabricantes no están disponibles todavía y no empezará su producción hasta que no exista una programación radiofónica y una evidencia en la demanda. Por lo que, las estaciones de radio no están dispuestas a invertir en programación para este nuevo modelo de radio si los oyentes no cuentan con los aparatos necesarios para recibir esos programas.

Se comenta que antes y durante el conflicto en Irak, la cobertura casi monográfica sobre este acontecimiento hacía imposible a la WNYC atender a otro tipo de programas que también podrían tener su audiencia. La posibilidad de contar con un nuevo canal podría aliviar la presión de muchas emisoras en situaciones como ésta, aunque no todas las compañías reaccionan igual ante esta nueva posibilidad de un segundo canal. Algunos muestran ciertas reticencias, por razones económicas y de programación.

Se justifican estos temores y la cautela con la que algunas compañías han reaccionado ante la radio de alta definición, en el caso de una emisora comercial de éxito, habrá que estar seguro de que la audiencia no queda diluida con un segundo canal y hay que estar dispuesto a correr el riesgo de que pueda competir con el primero.

Y se debe reconocer que esta nueva tecnología supone una enorme inversión y la programación de una segunda estación puede resultar prohibitiva, especialmente antes de comprobar que va a captar a una audiencia suficiente.

Si las pruebas que se están haciendo en Washington, Los Angeles y San Francisco son satisfactorias, los responsables de WNYC aseguran que el lanzamiento de la radio de alta definición podría producirse en 2004.

### 1.3 Situación Actual del Sistema DRM

El sistema DRM ofrece nuevas posibilidades para la radiodifusión sonora en onda larga, media y corta. Con las bandas FM prácticamente congestionadas y la mala calidad de la difusión AM, la radiodifusión DRM tiene numerosas ventajas para los radiodifusores que tratan de recuperar parte del mercado dentro de las bandas de AM.

Los fabricantes podrán crear nuevas posibilidades comerciales con los transmisores y receptores. Además de optimizar la rentabilidad de los componentes de tecnología dual para sistemas de baja velocidad de datos, utilizados en canales de transmisión de banda estrecha. Considerando que a la larga habrá que sustituir unos 2,500 millones de receptores, de los cuales unos 700 millones son utilizados para la recepción de onda corta, además de unos 1,000 transmisores en todo el mundo. Los beneficios para los fabricantes de equipos son evidentes.

DRM ofrece mejor calidad de audio y servicios de valor añadido para los oyentes (datos, texto o imágenes fijas). Aumentar el interés de la audiencia y los ingresos publicitarios, generará nuevas oportunidades comerciales. Esta integración de las transmisiones inalámbricas de audio y de datos permitirá proporcionar diversas aplicaciones tales como información sobre la estación y los programas, el tráfico local y las previsiones meteorológicas, así como noticias y mucho más. Como la señal digital es más fiable y robusta. Los receptores se sintonizarán con la mejor calidad en función de la intensidad de la señal, gracias al sistema AFS.

Para llegar a esto fueron necesarios muchos ensayos. Las pruebas de campo del sistema DRM han estado en marcha desde 1999. Muchas han sido las variantes para obtener los mejores resultados, han incluido la propagación NVIS (Near-Vertical-Incidence Sky-wave), la propagación de largo alcance hasta 23,000 [km], y de pruebas con SFN. Transmitiendo sus señales NVIS es posible cubrir un país entero con un solo transmisor, reflejando la señal en la ionosfera. Las frecuencias usadas típicamente para las transmisiones de NVIS están en las bandas tropicales, entre 2 y 5 [MHz].

Estas pruebas permitieron adaptar los simuladores del canal y alterar los algoritmos del receptor hasta observar los modos de transmisión óptimos. Muchos fueron los obstáculos, y muchos los parámetros a cambiar como: frecuencias, tiempos para el intervalo de guarda, robustez etc. hasta encontrar la especificación de sistema de DRM que hoy lo hace tan flexible. Una de las características más importantes del sistema DRM, es la conmutación automática de frecuencia (AFS), que permite al receptor cambiar la frecuencia que llevaba un programa particular, con esta opción es posible tener trabajando el sistema con un cierto modo en el día y otro en la noche, donde se presentan los cambios más abruptos en las transmisiones DRM.

Las pruebas de campo para el sistema DRM han sido un ejercicio muy importante. Pues estas destaparon los problemas más graves y permitieron adoptar las mejoras, antes de que la especificación de sistema final fuera fijada. El diseño del receptor se desarrolló a través de los ensayos, como resultado de los defectos observados durante las pruebas. Los progresos y las mejoras del funcionamiento llevadas a cabo por los receptores de prueba se pueden aplicar directamente a optimizar el funcionamiento de los receptores futuros para el consumidor.

Las pruebas de campo también hicieron una contribución significativa a la estandarización de DRM. En apenas cinco años, el sistema se ha movido rápidamente. El 30 de enero del 2003, el IEC (International Electrotechnical Committee) dio a DRM su voto de aprobación como Estándar Internacional (IEC 62272-1)

Además un reciente cambio en las reglas de procedimiento RRB (Radio Regulations Board) por la UIT ha despejado el camino legal para los radiodifusores que desean utilizar el sistema de radio de DRM para ondas medias y largas en las bandas de frecuencia de las regiones 1 y 3. Este procedimiento permite la modulación digital sobre una base provisional para cualquier radiodifusor

que desee utilizar las actuales asignaciones de las bandas de AM para la difusión digital en las regiones 1 y 3. Por en momento este cambio no cubre la región 2, pero DRM anticipa que se incluirá la región 2 en un futuro. Las transmisiones digitales deben cumplir con los mismos niveles de la protección que otras difusiones, establecidas ya para las difusiones analógicas ya que estas están sujetas a cumplir acuerdos internacionales.

En 2002, DRM recibió la aceptación por la ITU para las tres bandas que difundían debajo de 30 [MHz]. Los países miembros del ITU aprobaron una versión revisada de la recomendación BS1514, ahora llamada recomendación BS1514-1 (Radiodifusión Sonora Digital, debajo de 30 [MHz]), La cual indica que DRM es una recomendación de ITU-R para todas las bandas que transmiten a través de 150 [kHz] a 30 [MHz]. Ningún otro sistema de radio digital ha recibido tan amplia recomendación (incluyendo, onda corta, media y larga) por la ITU. Además, el instituto europeo de los estándares de las telecomunicaciones (ETSI) publicó una especificación técnica del sistema de DRM en septiembre de 2001. El documento se llama a ETSI TS 101 980 V1.1.1.

DRM es el único sistema no propietario digital para onda corta, media y larga con la capacidad de utilizar frecuencias y el ancho de banda existentes a través del globo. Con el sonido cercano a FM de una calidad mejorada. DRM revitalizará las bandas que difunden de la debajo de 30 [MHz] en mercados por todo el mundo. DRM lanzó sus difusiones inaugurales en WRC 2003 del ITU en Ginebra en junio.

Desde que se inauguraron la radiodifusión en el sistema DRM en junio del 2003 más de 50 radiodifusores han comenzado a transmitir sus programas diarios, semanales o periódicos de DRM. En agosto de 2003, DRM y World DAB Forum anunciaron su cooperación, pavimentando el camino para promover los receptores de DRM y de DAB. En la siguiente tabla se puede observar la situación actual de los diferentes países que están trabajando con el sistema DRM.

Horario	Frecuencia [KHz]	Cobertura	Potencia	Radiodifusor	Ciudad
Todos los días 0000-0059	6015	NE USA/Canada	70	BBCWS	Sackville
Todos los días 0000-2400	1485	SW Alemania	0,3	SWR Das Ding	Kaiserslautern
Todos los días 0000-2400	15896	Erlangen (Alemania)	0,1	biteXpress Campus Radio	Erlangen
Irregular 0000-2400	855	Alemania	2,5	DLR	Berlin-Britz
Todos los días 0000-2400	26012	Nuernberg (Alemania)	0,01	Campus Radio	Nuernberg
Pruebas 0000-2400	1062	Paris	5	TDF	Meudon
Pruebas 0000-2400	26000	Neumarkt	0,01	Campus Radio	Dillberg
Todos los días 0000-2400	25765	Rennes	0,1	TDF Radio	Rennes
Pruebas 0000-2400	1485	Francia	?	TDF	Clermont Ferrand
Todos los días 0100-0159	6140	NE USA/Canada	70	Radio China	Sackville
Todos los días 0400-0459	6010	W & C No. America	70	BBCWS	Sackville
Sabado- Domingo 0500-0600	15255	NZ + SE Australia	10	RNW	Bonaire
Todos los días 0600-100	21675	Europa	80	DW	Trincomalee
Jueves-Domingo 0600-2400	6095	Europa	35	RTL	Junglinster
Todos los días 0800-1400	15440	W & C Europa	80	DW	Sines

Pruebas 0800-1500	774	Czechia	2,5	Czech Radio	Hradec Králové- Stezery
02/16-02/19 0815-0845	1314	N Europa	350	NRK	Kvitsoy
Lunes-Viernes 0900-1100	17700	Europa	80	DW	Sines
02/16-02/19 0915-0945	1314	N Europa	350	NRK	Kvitsoy
Todos los días 0930-1305	13620	Europa	?	Radio Kuwait	Sulaibiyah
Todos los días 0945-0959	9850	Europa	40	FEBA	Flevo
Todos los días 0959-1200	9850	Europa	40	RNW	Flevo
Lunes 1000-1100	9760	W & C Europa	33	Christian V.	Rampisham
Todos los días 1000-1200	6140	W & C Europa	40	DW	Juelich
Todos los días 1000-1500	7320	NE & C Europa	33	BBCWS	Rampisham
1015-1045 02/16-02/19	1314	N Europa	350	NRK	Kvitsoy
Lunes-Viernes 1100-1155	17710	Europa	80	DW	Sines
Sabado 1100-1200	9850	Europa	40	TDP Radio	Flevo
Todos los días 1100-1300	21780	SW Europa	10	RNW	Bonaire
Sabado- Domingo 1100-1300	9410	NE & C Europa	33	BBCWS	Rampisham
1110-1130 02/16-02/19	1314	N Europa	350	NRK	Kvitsoy
Todos los días 1200-1257	9850	Europa	40	RNW	Flevo
Todos los días 1200-1300	6140	W & C Europa	40	DW	Juelich
Todos los días 1200-1350	9655	Europa	150	DW	Wertachtal
1215-1245 02/16-02/19	1314	N Europa	350	NRK	Kvitsoy
Todos los días 1300-1330	9815	Europa	40	Radio Sweden	Flevo
Domingo 1300-1330	9565	Europa	35	HCJB Just Jazz	Rampisham
Lunes-Viernes 1300-1500	9410	NE & C Europa	33	BBCWS	Rampisham
1315-1345 02/16-02/19	1314	N Europa	350	NRK	Kvitsoy
Todos los días 1315-1730	9880	N Africa, Near East	?	Radio Kuwait	Sulaibiyah
Todos los días 1330-1400	9815	Europa	40	Radio Sweden	Flevo
Domingo 1330-1400	9565	Europa	35	var. from NASB	Rampisham
Todos los días 1400-1430	9815	Europa	40	RCI	Flevo
Sabado 1400-1500	5985	Europa	40	TDP Radio	Juelich
Todos los días 1400-1500	12060	W & C Europa	35	VoR	Taldom
Todos los días 1400-1559	6130	Europa	150	DW	Wertachtal
1415-1445 02/16-02/19	1314	N Europa	350	NRK	Kvitsoy

Todos los días 1429-1500	9815	Europa	40	RNW	Flevo
Todos los días 1500-1514	9815	Europa	40	Vatican Radio	Flevo
Todos los días 1500-1600	12060	W & C Europa	35	VoR	Taldom
1515-1545 02/16-02/19	1314	N Europa	350	NRK	Kvitsoy
Todos los días 1600-1700	12060	W & C Europa	35	VoR	Taldom
Todos los días 1600-1729	3995	Europa	150	DW	Wertachtal
Todos los días 1600-1800	6140	Europa	40	DW	Juelich
Todos los días 1600-1915	1296	Holanda	70	BBCWS	Orfordness
1610-1630 02/16-02/19	1314	N Europa	350	NRK	Kvitsoy
Todos los días 1700-1800	12060	W & C Europa	35	VoR	Taldom
1715-1745 02/16-02/19	1314	N Europa	350	NRK	Kvitsoy
Todos los días 1800-1900	6140	Europa	40	DW	Juelich
Todos los días 1900-2000	11925	Rusia	33	BBC	Rampisham
Todos los días 2055-2130	9800	NE USA/Canada	70	Vatican Radio	Sackville
Todos los días 2100-2155	11730	Europa	10	RNW	Bonaire
Todos los días 2115-2400	1296	Holanda	70	BBCWS	Orfordness
Todos los días 2130-2200	9800	NE USA/Canada	70	RNW	Sackville
Todos los días 2200-0200	11675	N America East	?	Radio Kuwait	Sulaibiyah
Todos los días 2200-2300	15530	N America West	10	RNW	Bonaire
Todos los días 2200-2300	9800	NE USA/Canada	70	RCI	Sackville
Todos los días 2300-2330	9800	NE USA/Canada	70	Deutsche Welle	Sackville
Todos los días 2330-2350	9800	NE USA/Canada	70	Radio Sweden	Sackville

Tabla 6.1 Situación Mundial del Sistema DRM

Por otra parte Sony está ampliando los mercados para la radio digital en Europa, prometiendo su ayuda para activar el sector comercial de DRM y del DAB. Los receptores y el equipo de DRM estarán disponibles para los radiodifusores y los consumidores, a través de 2004.

El ancho de banda de una señal paso banda de DRM es menor de 20 [kHz] y el número de portadoras utilizado en la COFDM es relativamente pequeño (máximo 460). Estas características motivan una implementación de software en tiempo real para un receptor DRM en una computadora personal (PC) usando una tarjeta de sonido como dispositivo de entrada y de salida. El proyecto de DRM de Radio Software, dirigido por VT Merlin Communications, intenta poner a trabajar un receptor con FI de 12 [KHz] como receptor DRM. Esta frecuencia está dentro de la gama de las tarjetas de sonido de la PC, la tarjeta de sonido de la PC se utiliza para analizar la señal de DRM.

Entonces tenemos que para escuchar las transmisiones de DRM, se necesita tener un receptor DRM, o también se necesita tener software para decodificar las señales de DRM. Este software está solamente disponible a través del consorcio DRM Para adquirir el software es necesario pagar una licencia de 60 € (\$ 840M.N.).

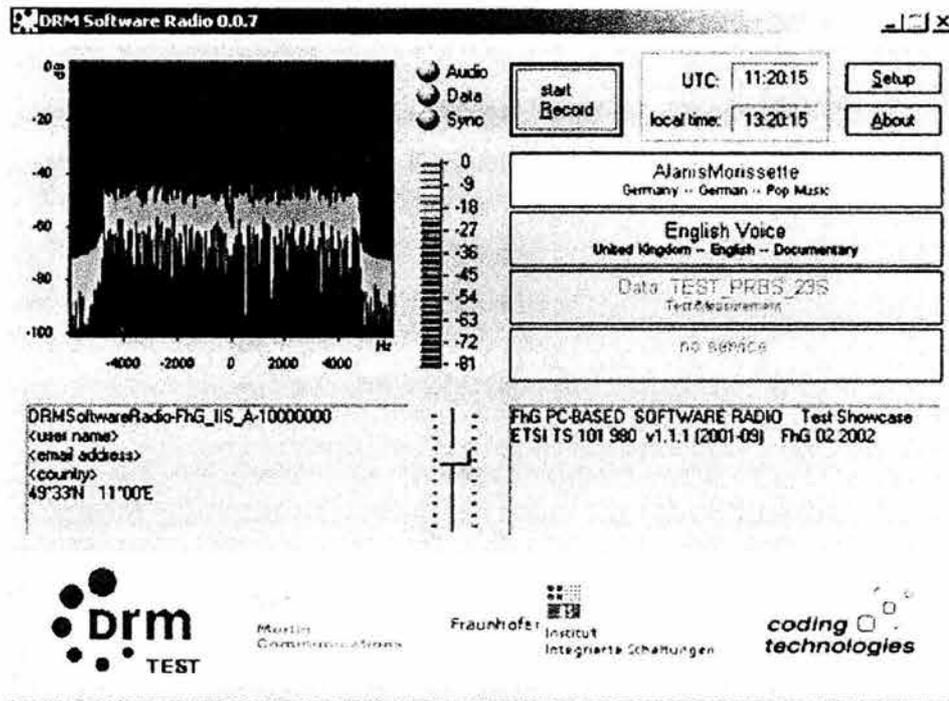


Fig. 6.5 Software DRM

La radiodifusión AM digital llegó al mercado público en 2003. En el período de transición, los transmisores y receptores recibirán señales analógicas y digitales y los radiodifusores que tienen numerosas emisiones en la banda AM podrán optar por la difusión simultánea para conservar su audiencia actual y crear un nuevo mercado. Los fabricantes comercializarán receptores que recibirán simultáneamente las estaciones AM y FM analógicas y AM digitales.

#### 1.4 Situación Actual de los Sistemas Satelitales

Denominados como servicios DARS (por sus siglas en inglés, Digital Audio Radio Service), Actualmente estos sistemas funcionan en Estados Unidos y es posible recibir la señal sin problemas en cualquier zona. Sirius opera con tres satélites de órbita elíptica (espectro de los 2320 a 2332 [MHz]). Dos de sus satélites están activados siempre en el espacio estadounidense y el tercero se desactiva cuando está fuera de este territorio. XM opera con dos satélites geoestacionarios de órbita circular ecuatorial (espectro de los 2332.5 a 2345 [MHz]).

Cada empresa ofrece 100 estaciones, con locutores, con calidad de audio digital y sin obstáculos geográficos que distorsionen la señal. Transmiten música de diversos géneros y temas de contenido, por ejemplo noticiarios nacionales e internacionales, cápsulas medicas, programas deportivos entre otros.

Por lo que se refiere al progreso del DAB vía satélite, en 1997 durante la conferencia mundial de Radiocomunicaciones, a México se le atribuyó la banda de 2310 a 2360 [MHz], para el servicio de radiodifusión por satélite y servicio de radiodifusión terrena complementario.

Al concederle a Estados Unidos el segmento de los 2310 a 2360, para la explotación del DAB sólo por vía satélite en la CAMR-92, se considero que esta situación forzaba a México a efectuar acuerdos bilaterales para el uso de la banda S, especialmente en las fronteras. Esto significaba que, en el Momento que Estados Unidos empleará este tipo de servicio, sus satélites cubrirán el territorio mexicano. Este hecho obliga a nuestro país a firmar el 24 de Julio del 2000, un convenio que permite el uso compartido de la porción de la banda S, para que en el momento que nuestro país lo considere conveniente, podrá prestar este servicio. Es decir, el objetivo principal de este acuerdo es proteger los mercados de ambos países, por lo tanto, queda anulada la posibilidad para que el servicio que opere en un país, pueda ser ofrecido en la otra nación y evitar interferencias. Estados Unidos utilizará 16 [MHz] y México 14 [MHz] y lo que resta puede ser usado por los dos países para servicio terrestre. Este acuerdo se oficializó el 18 de Julio del 2001, publicado en el diario oficial.

Para acelerar el desarrollo de los servicios DARS, estas empresas efectuaron convenios con diferentes compañías. En el caso de XM Satélite Radio, su principal accionista ha sido General Motor, además de Hughes Electronics; Clear Channel Communications, Telecom. Ventures, DirecTV, entre otras, las cuales han depositado su confianza en la radio digital vía satélite. También es considerada como las mas avanzada en la explotación de esta tecnología. Para la fabricación de los receptores de XM, se encuentra Sony, Pioneer, Alpine, Clarion, Delco, Motorola y Delphi.

Los convenios de Sirius, fueron con Ford, Mercedes, BMW, Daimler, Jaguar y Volvo. La producción de receptores la efectúan Kenwood, Sanyo, Sony, Jensen, Pioneer, Clarion, Alpine y Panasonic, las cuales han integrado las tres bandas AM, FM, DARS en los receptores.

Así actualmente el funcionamiento de los DARS, es calificado como exitoso en los estados unidos.

Otra organización que surge para llevar a cabo también servicios de radiodifusora sonora digital, es WorldSpace. Esta compañía tiene su sede en Washington D.C. y fue la primera empresa en enviar servicios digitales vía satélite, su objetivo principal es llevar servicios de audio digital y multimedia, directamente de sus satélites a los continentes donde se encuentran países del tercer mundo, entre ellos se encuentran África, Medio Oriente, Asia, Latinoamérica, y el Caribe. La compañía pretende operar a través tres satélites geoestacionarios denominados AsiaStar, ÁfricaStar y AméricaStar. Así mismo ofrecer 100 canales con diferentes formatos y servicios, para cubrir gran parte del mundo.

En Octubre de 1998 fue lanzado el satélite ÁfricaStar, el cual brinda sus servicios en el sur de África, y transmite alrededor de 80 canales de programación de audio a receptores portátiles. En marzo del año 2000 pusieron en órbita el satélite AsiaStar, ofrece más de 40 canales de audio digital a través de cada uno de los tres haces del satélite, cada haz cubre un enorme territorio (catorce millones de kilómetros cuadrados) y juntos cubren casi toda Asia, incluyendo a China, India, Indonesia, Malasia, Filipinas, Singapur, Tailandia y varias islas Asiáticas. El único satélite que les falta poner en órbita es el AméricaStar.

En el caso de Worldspace, aunque le falta lanzar el satélite AméricaStar, el cual está dentro de sus planes ponerlo en órbita a finales del año (2002). Por el momento, sus servicios son gratuitos, pero tiene planeado brindar servicios de paga (premiun), para el año 2003, así como el servicio para el auto.

Los europeos a través de la empresa Alcatel Space, firmaron un acuerdo con WoldSpace en enero del 2001, para producir los receptores de auto y ser introducidos en Europa en el 2003.

Por el momento, éstos son los sistemas DAB más importantes que se están desarrollando en los Estados Unidos. El sistema IBOC, desde que inicio su progreso, no ha podido cumplir con sus

planes. Aun que, ha solicitado a la FCC que sea admitido como norma técnica o estándar para las transmisiones de radio digital en Estados Unidos, todo parece indicar que aun no será aprobado, debido a las diferencias técnicas que aun presenta. En el caso de la empresa WorldSpace, dos de sus satélites están funcionando y planean lanzar en este año (2002) el satélite AméricaStar. Por lo que continúa avanzando en sus proyectos. En cuanto a los sistemas DARS, mediante los satélites de Sirius y XM, actualmente los Estadounidenses tienen acceso a estos servicios.

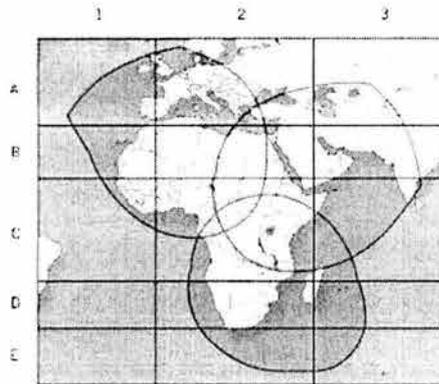


Fig. 6.6 Cobertura WorldSpace en África

Así, la radio digital a través de la radio satelital, presentará una fuerte competencia para la radiodifusión terrestre de hoy, ya que es uno de los mayores avances tecnológicos en esta materia. Por estas circunstancias, es fundamental para los estadounidenses definir los sistemas IBOC. Por ahora, les falta mucho camino por recorrer, en comparación con lo que ha logrado el sistema Eureka 147.

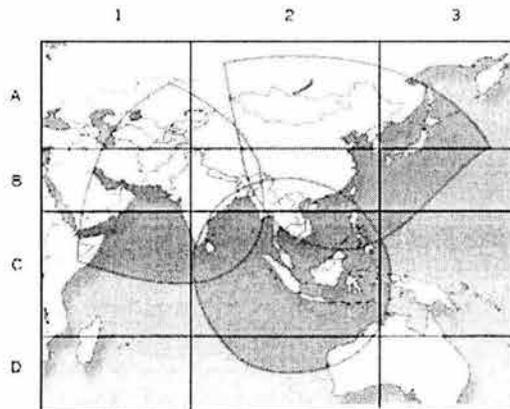


Fig. 6.7 Cobertura WorldSpace en Asia

## 2 Perspectivas para México

En diversas partes del mundo, la radio se incorpora paulatinamente a una nueva etapa de desarrollo tecnológico y en la convergencia multimedia. La radio entra de lleno en la digitalización, en la compresión de señales, en la automatización, en el envío de datos agregados, en la difusión de señales a través de Internet, bajo un contexto de liberalización económica y de creación de conglomerados multimedia.

México no ha sido la excepción y hoy en día varias decenas de emisoras ya cuentan con los más avanzados equipos y programas de cómputo para la administración de la empresa, la producción, la gestión de la publicidad, el control de transmisiones, con una cada vez menor intervención del ser humano. También en nuestro país, la radio incrementa el uso de los satélites, de la telefonía celular, su presencia en Internet (hoy en día, por ejemplo, son 322 estaciones que tienen página y de éstas 82 transmiten en tiempo real), se realizan pruebas de radio digital terrestre y por satélite, se firman convenios para administrar las frecuencias de los futuros servicios de radio directa por satélite, etc.

La radio del futuro se convierte en un objeto de estudio fascinante, que nos atrae por los novedosos cambios que sin duda generará en la calidad del sonido, en la oferta de servicios, en los procesos de transmisión y recepción, en las propias formas de la comunicación radiofónica. Sin embargo, también es un hecho que no toda la radio mexicana trabaja bajo el mismo ritmo, hay diferencias económicas y de acceso a la tecnología, pero también de coberturas. La radiodifusión sigue siendo un servicio que en pleno siglo XXI no gozan todos los mexicanos y muchos de los que la reciben tienen una oferta muy limitada.

Pero si bien todo esto es muy alentador en México no hay prisa para la adopción del estándar de radio digital. El Comité de Tecnologías para la Radiodifusión, conformado por representantes del gobierno federal y de la Cámara Nacional de la Industria de Radio y Televisión (CIRT), prevé que para el 2004 será elegido el sistema de radio digital que se implantará en México.

Con ese anuncio, se retrasa un año más la decisión sobre el futuro tecnológico de la radio, como se tenía previsto en el Programa gubernamental del Sector Comunicaciones y Transportes, dado a conocer en el 2001, que establece: "Los avances en cada subsector se dan en diferente velocidad, por lo que la adopción del estándar de la radio se esperaría para el 2003".

## **2.1 Los pasos de México en la radio digital**

- 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. 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.

### **Primeras Pruebas del Sistema DAB en México**

En el año de 1993, la radiodifusión mexicana experimentó a nivel de pruebas, con una de las tecnologías más importantes conocida como sistema DAB, del proyecto Eureka 147. Este primer ensayo se realizó específicamente en la Cd. de México, con la finalidad de observar y evaluar esta nueva tecnología radiofónica.

La demostración estuvo a cargo de la CIRT, con la colaboración de la SCyT, el gobierno de Canadá y el auxilio técnico de la CBC (Canadian Broadcasting Corporation)

Para esto se eligió el cerro del Chiquihute como mejor opción para instalar el sistema de transmisión DAB, pues cuenta con una altura de 540 [m] sobre el nivel promedio de la ciudad.

Para realizar esta prueba, el equipo que emplearon fue proporcionado en calidad de préstamo, por medio de la CBC, fue un equipo de segunda generación, el cual operó con un ancho de banda de 3.5 [MHz], con una capacidad de transmitir nueve canales estereofónicos, con calidad equivalente a CD. De esta forma utilizaron un transmisor con una potencia máxima de 200 [W], el cual alimentó una antena de tipo direccional de alta ganancia, produciendo un potencia aparente radiada de 7.7 [kW]. Operó con una frecuencia de 1468.75 [MHz], que corresponde al segmento de banda L. El equipo transmisor empleado hecho a prueba de climas extremos, lo instalaron en la base de la torre y utilizaron una línea de transmisión de 30 [m] de largo tipo Andrew de 31/8. El sistema de generación de señal DAB, filtrado, amplificación, codificación y compresión, lo instalaron en racks, junto con una cabina básica de audio (consola, CD, DAT, entre otros) para que contaran con la posibilidad de generar la señal de audio, desde el lugar de transmisión.

Para hacer la comparación de la emisión de DAB, en relación con la transmisión de una estación de FM, determinaron utilizar la estación estéreo 97.7. Las características generales de esta emisora son: potencia del transmisor, 19 [kW]; tipo de antena, comunitaria de 24 elementos direccional de paneles; potencia aparente radiada 99.718 [kW]; altura del centro de radiación de la antena sobre el sitio de instalación, 90.31[m].

Las dos emisoras, tanto DAB como FM, se alimentaron con la misma señal del programa de la estación estéreo 97.7, donde la estación de FM no sufrió alteración alguna. La única diferencia fue que la señal DAB no se procesó, se tomó directamente de la salida de la consola enlazándose por medio de un sistema digital hasta el sitio de transmisión.

Por lo que respecta a la parte receptora, el equipo lo instalaron en un autobús. Emplearon un analizador de espectros, el cual les permitió observar la magnitud de la señal DAB acogida, un osciloscopio para la contemplación de la reflexión de las señales RF recibidas, un juego de amplificadores de distribución, amplificadores de bajo nivel de ruido; un sintetizador de filtros, mezcladores, el receptor DAB y un sistema de generación de corriente alterna independiente del autobús con posibilidad de ajuste de nivel de tensiones de 110 y 220 VAC.

Mediante recorridos de una hora aproximada realizaron las pruebas. Partieron de la Torre de Telecomunicaciones, pasaron por el eje Lázaro Cárdenas, el Viaducto, Parque Lira, Los Pinos, Chapultepec, Paseo de la Reforma, Avenida Sevilla, la Avenida Chapultepec y cruzaron el paso a desnivel de la glorieta del metro Insurgentes, regresando por Av. Cuauhtémoc hasta la SCyT.

En el viaje comprobaron que los efectos de distorsión por propagación multitrayectoria y la interferencia que perturba a la señal de FM, no afectaron la calidad de recepción del sistema DAB, la cual permaneció estable. Sólo en el caso del túnel del paso a desnivel de insurgentes con Av. Chapultepec, la señal DAB se cortó repentinamente a unos cuantos metros de la entrada del pasaje.

Para esta situación, fue posible poner rellenos de huecos, e instalaron un retransmisor de 0.25 [W] en la salida del pasaje logrando una cobertura total de éste, de tal manera que al pasar el autobús por el túnel, no perderán la señal.

Al utilizar un repetidor en el túnel empleando la banda L, fue considerada la primer experiencia llevada a cabo a nivel mundial, debido a que si bien, el sistema lo había probado en distintas partes del mundo; al colocar rellenos operaban en bandas distintas a la L, por ello, el comportamiento de las ondas variaban considerablemente entre una banda y otra. Así, este ensayo fue interesante ya que desde el inicio obtuvieron un buen resultado.

Después de esta práctica, efectuaron algunos recorridos especiales con personal técnico de las diferentes radiodifusoras del DF, Instituciones, Dependencias y Asociaciones relacionadas, con el

propósito de obtener mayor número de elementos de juicio para la valoración del comportamiento del DAB.

Así, los resultados fueron los siguientes:

1. En un recorrido hasta Chalco Edo. Méx., corroboraron que el enlace de hasta 40 [km] resultó satisfactorio, siempre y cuando no se interpongan en la trayectoria de la señal grandes obstáculos como lo son cerros y montañas.
2. La señal entre los edificios del centro de la ciudad fue muy buena, ya que todas las reflexiones fueron aprovechadas por el sistema para producir una salida de audio de alta calidad
3. En su recorrido por la zona de Cañadas de la Herradura, conservaron la señal sin interrupción
4. Cuando el autobús atravesó por pasos a desnivel, con un trayecto aproximadamente perpendicular a la línea de vista hacia la antena, la señal se cortó, por dos o tres segundos
5. El uso de rellenadores de la señal en un túnel con el sistema operando en banda L, resultó exitoso
6. El nivel de potencia de 7.7 [kW] demostró ser suficiente para cubrir el área del DF desde el cerro del Chiquihuite hasta el extremo sur de la ciudad.

Debido a la falta de tiempo, no les fue posible investigar sobre la penetración de la señal en edificios y áreas cerradas, sin embargo, los canadienses ya contaban con información de estos casos, pues presentaron un programa detallado de mediciones específicas, reportando que la penetración de la señal en banda L era bastante buena.

Los resultados obtenidos sobre esta primer experiencia realizada en el plan de pruebas en la Cd. de México con el sistema DAB europeo comprobaron lo siguiente:

1. La calidad del sonido es similar a la del CD.
2. La recepción tanto fija como móvil, está exenta de ruidos causada por efectos de propagación multitrayectoria.
3. El uso de repetidores en la misma frecuencia, permite el cubrimiento de zonas de sombra, sin detrimento de la calidad de la transmisión.
4. La energía necesaria para cubrir la Cd. de México, sería del orden de los 1000 [W] en el transmisor en cada sitio, para emitir hasta nueve canales utilizando posiblemente 3 sitios de transmisión simultáneos.
5. La señal se pierde cuando hay obstáculos muy grandes, tales como cerros y no se reciben reflexiones de otros elementos topográficos o estructurales.
6. Y la señal se pierde en túneles largos, así como en pasos a desnivel cuya dirección es perpendicular a la línea de vista.

El costo aproximado de esta prueba ( seguros, transporte del equipo de Canadá a México, entre otros) osciló entre 35 y 50 mil dólares. Estos gastos fueron cubiertos por los mismos radiodifusores a través de la empresa creada en 1992 para desarrollar específicamente en este proyecto en nuestro país: DABMEX, S.A.

#### **México prueba DAB móvil vía satélite**

México fue también sede de las primeras pruebas a nivel mundial del sistema europeo de radiodifusión de audio digital Eureka 147, para transmisiones vía satélite, utilizando la banda L.. Las exitosas demostraciones, de carácter privado, fueron llevadas a cabo por los organismos gubernamentales Telecomunicaciones de México (TELECOMM) y el Instituto Mexicano de Comunicaciones (IMC), en coordinación con la British Broadcasting Corporation (BBC), una de las impulsoras más fuertes del DAB en Europa.

Con esta acción, los creadores de Eureka 147 dieron un paso hacia adelante en el desarrollo de su tecnología, pues hasta ese momento sólo habían probado el sistema en banda S.

Asimismo las pruebas ampliaron las expectativas del DAB satelital a nivel mundial, al utilizarse una frecuencia cercana al segmento de la banda L, otorgado, como se recordará durante la CAMR de la UIT, en 1992.

Las pruebas fueron realizadas del 17 al 21 de julio e 1995, en el Conjunto de Telecomunicaciones de TELECOMM. En este lugar, ubicado en el oriente de la Ciudad de México, se encuentra el control maestro de los satélites mexicanos Morelos II, Solidaridad I y Solidaridad II; hecho que facilitó el desarrollo del experimento.

Las actividades, según explicaron los representantes de la empresa gubernamental británica, fueron llevadas a cabo en México, debido a que no encontraron en alguna otra parte del mundo un satélite como el Solidaridad II que tuviera disponible o desocupada la banda L.

Comentaron que para ellos era muy importante probar el sistema en la banda asignada en Torremolinos, ya que la BBC tiene entre sus planes utilizar el DAB satelital para enlazar las estaciones de FM y posteriormente para proporcionar su servicio internacional de radiodifusión.

El sistema Eureka 147 fue probado durante 240 minutos diarios en transmisiones vía satélite dirigidas, de manera alternada, a un usuario fijo y a un vehículo en movimiento, a una distancia de 36 mil kilómetros (donde se encuentra el satélite Solidaridad II), a través de la frecuencia ubicada en los 1529.15 [MHz].

Los organizadores informaron que la frecuencia elegida fue ligeramente superior a la que se acordó en CAMR-92 (de los 1452 a los 1492[MHz] de la banda L), pues ese espectro es ocupado en la actualidad por otros servicios que se proporcionan en México.

Aclararon que en caso de que se hubiera utilizado una frecuencia menor con el fin de estar dentro del segmento de referencia, los resultados hubieran sido muy similares porque el comportamiento de la señal no tiene muchas diferencias en frecuencias tan poco alejadas.

En la prueba de transmisión se utilizaron dos reproductores de discos compactos, cuyas señales de audio fueron codificadas individualmente; se les agregaron códigos protectores de error y se intercalaron en tiempo. Al ser combinadas fueron transmitidas simultáneamente dentro de un mismo canal (multiplexión). A su vez, la salida multiplexada fue entrelazada en frecuencia y se combinó con información y servicios. Se sumaron símbolos de sincronización antes de agregar codificación CODFM. Finalmente la señal fue convertida en frecuencia intermedia de 70.15[MHz] adecuada para ser transmitida por la estación terrena en banda KU al satélite, en el cual se realizó la conversión de la señal a banda L, en la frecuencia de 1529.15 [MHz].

En cuanto a la recepción fija, se utilizó una antena tipo yagui, la cual fue instalada fuera del edificio para evitar la obstrucción de la línea de vista hacia el satélite.

La antena fue conectada a un amplificador y a un filtro que enviaban la señal recibida por medio de un cable de baja pérdida a un convertidor de frecuencia y éste, de manera simultánea, al receptor de DAB y a un analizador de espectro. La salida del receptor fue utilizada para alimentar una grabadora DAT y un amplificador de audio.

En la prueba móvil, los ingenieros de la BBC usaron una pequeña antena, de aproximadamente 20 centímetros de diámetro y dos centímetros de espesor, que fue colocada en el techo del vehículo. Los recorridos se hicieron en una distancia promedio de 10 [km].

Aunque las pruebas fueron consideradas "muy de laboratorio", se llegó a la conclusión de que su desarrollo fue un buen logro.

"Lo que hemos hecho ha sido muy exitoso", dijo el doctor John T. Zubrzycki, subdirector de Desarrollo e Investigación de la BBC. "En las pruebas móviles obtuvimos buenos resultados a una velocidad de 60 [km/h]".

Por otro lado, al principio WorldSpace proyectaba cubrir la República Mexicana; sin embargo este plan fue rechazado por los radiodifusores mexicanos, es decir, tanto la SCT como la CIRT, se opusieron a que este tipo de sistema funcionara en México. Para contrarrestar las intenciones de WorldSpace, nuestro país pidió a la UIT su intervención para negarle a esta empresa la autorización del uso de la banda L, ya que afectaría el desarrollo de la radiodifusión sonora digital en esa banda. Ahora, solo intenta cubrir la parte sur de México, por lo que el resto del país no será cubierto.

En cuanto a la operación de los servicios DARS en todo el país, según la CIRT no resulta un negocio interesante, debido al número de vehículos que circulan (cerca de 17 millones). Por el momento la SCT ha determinado que los servicios DARS tardarán en llegar a México probablemente 3 ó 4 años.

- 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.
- En 1996 la CIRT no toma aún decisión alguna acerca del sistema de 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 de julio de 1999. Acuerdo para el estudio, evaluación y desarrollo de tecnologías digitales en materia de radiodifusión y creación oficial del Comité Consultivo de Tecnologías Digitales para la Radiodifusión, conformado por tres representantes de la SCT y tres de la Cámara Nacional de la Industria de Radio y Televisión.
- 27 de marzo de 2000. Reserva de frecuencias del espectro radioeléctrico para realizar trabajos de investigación y desarrollo, relacionados con la introducción de la radiodifusión digital. (DOFF).
- 26 de julio de 2000. Acuerdo entre el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos y el Gobierno de los Estados Unidos de América en relación con el uso de la Banda de 2310-2360 [MHz].
- 3 de octubre de 2000. Modificación de los títulos de concesión y permiso para implantar la o las tecnologías digitales que haya elegido la SCT y llevar cabo todas las acciones en los plazos.
- Durante una mesa redonda sobre tecnologías digitales, realizada en el marco de la XLIV Semana Nacional de radio y Televisión, se comentó, además, que el estándar tecnológico para la televisión también no sería elegido en el 2002 sino en el 2003.

De acuerdo con el mismo programa del gobierno del presidente Vicente Fox, uno de los propósitos es que al menos el cinco por ciento de las estaciones concesionadas de radio y el 15 por ciento de las de televisión operen con tecnología digital en el año 2006.

En su reunión con los radiodifusores, el subsecretario de Comunicaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Jorge Alvarez Hoth, dijo que el desarrollo del sistema europeo Eureka 147 es más convincente tecnológicamente. Sin embargo, desde el punto de vista económico y mercadológico no está plenamente desarrollado, lo cual disminuye las expectativas para su implantación en el país.

Del sistema estadounidense desarrollado por Ibiquity, el IBOC, dijo que éste ha sido aprobado por la FCC de Estados Unidos para su incorporación en las estaciones que funcionan en la banda de FM. En cambio, para las emisoras de AM aún no está autorizado plenamente la tecnología, ya que sólo permitieron su uso en el servicio diurno, por lo que México se mantiene a la expectativa.

- Durante el desarrollo de la XLV Semana Nacional de Radio y Televisión realizada por la CIRT del 7 al 10 de octubre 2003, la Dirección de Ingeniería de este organismo en combinación con ingenieros de Televisa y Grupo Radio Centro, instalaron en el salón Alcatrazes del hotel Camino Real de la Ciudad de México, receptores de las diversas tecnologías digitales que existen en radio digital.

Por primera vez, se tuvo la oportunidad de poder escuchar al mismo tiempo y en el mismo lugar, prácticamente las tecnologías de radio digital más avanzadas que existen en el mundo, como lo son IBOC-FM (HD Radio), Eureka 147 así como las transmisiones que están realizando en forma cotidiana las empresas estadounidenses de radio digital.

Los fabricantes estadounidenses de equipo de transmisión Broadcast Electronics, facilitó tanto un transmisor para el sistema IBOC-FM como un combinador para operarlo con la estación de radio XHFAJ-FM en la frecuencia de 91.3 [MHz], cuyo cubrimiento es al área metropolitana del Valle de México desde el Cerro del Chiquihuite, ubicado al norte de la Ciudad y la empresa Harris facilitó un transmisor para la transmisión de World DAB dentro de la porción de la banda "L" que va de 1452 a 1492 [MHz], el cual, como está diseñado, es factible que transmita hasta 5 señales diferentes, una de las cuales correspondía también a la programación transmitida por la estación XHFAJ-FM ya mencionada.

El resultado preliminar de estas demostraciones nos indica, según la encuesta levantada por la CIRT que, en primer lugar, la forma en que se mostraron estos adelantos tecnológicos le pareció muy original al 97.5% del público asistente, el 57% de los que asistieron ya conocían sobre las tecnologías digitales, sin embargo, el 43% ignoraban sobre estos desarrollos, el 42.6% de los asistentes les pareció mejor el sonido generado por el sistema Eureka 147, en cambio, el 36.7% le pareció mejor el sonido generado por el sistema IBOC.

Eureka 147, el 54% de los asistentes opinaron que los actuales sistemas digitales de radio satelital, competirán a futuro con la radiodifusión terrestre, en cambio, el 46% opinaron que serían servicios complementarios.

Una respuesta interesante que dieron el 92.6% de las personas asistentes opinaron que la radio actual debe cambiar a la radio digital y también el 79,1% opinó que la decisión de cambiar la radio actual a lo digital, debe ser tomada conjuntamente tanto por el Gobierno como por la Industria. Sobre la pregunta si debería adoptarse por México el tomar la decisión de adoptar más de una tecnología, el 54.5% opinó que si debería tomarse la decisión de tener más de una. El 63.3% de las personas que opinaron pertenecían al sector de Radio.

Independientemente de haber llevado a cabo las demostraciones anteriores, el Grupo de ingenieros de la industria, con la participación de algunos elementos del sector Gobierno, ya preparan las pruebas a que someterán los sistemas para establecer, básicamente, la comparación entre los sistemas IBOC-FM y Eureka 147, tanto en alcance, respuesta, inmunidad a las interferencias, además de pruebas acústicas de escucha a que estarán sujetas estas nuevas tecnologías de la Radio, resultados que servirán para que el Comité Consultivo de Tecnologías Digitales para la Radiodifusión, posiblemente para el año entrante determine cual tecnología será la más conveniente para nuestro país.

Es así como los ingenieros de la industria de la radio y televisión han realizado un esfuerzo conjunto para demostrarle el deseo que se tiene de entrar al mundo nuevo de lo digital.

El Arquitecto Pedro Cerisola y Webber, titular de la SCyT, entregó a la concesionaria de la estación radiodifusora comercial XHFAJ-FM de la Ciudad de México, un permiso para realizar estudios, evaluaciones y experimentación de las tecnologías digitales en materia de Radiodifusión Sonora Digital, bajo los estándares internacionales IBOC-FM y Eureka 147, esto como consecuencia de la solicitud que presentó dicha concesionaria, con el apoyo de la CIRT.

Para el caso del IBOC-FM, la frecuencia asignada es la de 91.3 [MHz], la potencia aparente radiada es de 1,553 [w] y el distintivo de llamada es el XHIBOC-RD; para el caso de Eureka 147 el distintivo de llamada asignado es XHEURK-RD, la potencia radiada aparente de 3,171 [w] y la frecuencia autorizada está entre 1467.618 y 1469.262 MHz, dentro de la cual se transmiten las señales de audio de 5 estaciones que son: XHRED-FM, XHFAJ-FM, XEJP-FM, XERC-FM y 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.

Una vez concluida la semana de radio y televisión en la ciudad de México, el secretario de Comunicaciones y Transportes, Pedro Cerisola, entregará el permiso para las pruebas experimentales en radio digital, los presidentes de los grupos Radiorama, Acir, Radio Fórmula y Radio S.A. se dicen listos para comenzar su migración hacia la digitalización.

Javier Pérez de Anda, presidente del Grupo Radiorama, afirma que la industria "ha mejorado muchísimo en contenidos pues ahora la solución de audio está digitalizada en casi 80%", sin embargo, advierte que en la parte de la transmisión aún hay camino que recorrer.

Francisco Ibarra, presidente del Grupo Acir, asegura que la digitalización de la radio nacional es necesaria porque en todo el mundo se está desarrollando de manera firme por lo que ahora México tiene que determinar cuál es la tecnología que va a adoptar. El radiodifusor señala que "tenemos que adoptar la misma que Estados Unidos por la frontera y estamos trabajando intensamente para conseguir nueva tecnología y entrar en ella a la mayor brevedad".

Sobre la inversión necesaria para la digitalización, Pérez de Anda explica que el dinero no es el principal obstáculo, "el problema es el tiempo oportuno para la inversión, porque se requiere de tiempo para encontrarle el mayor provecho, pues si todavía el precio de los receptores digitales no son adecuados para la audiencia, las radiodifusoras, aun con la tecnología más avanzada, no van a ser escuchadas.

En ese sentido, Francisco Ibarra comenta que "es muy difícil hablar de inversiones cuando no tenemos el sistema definido, pero es claro que serán inversiones fuertes, a gran escala; lo que necesitamos es seguridad jurídica y que las concesiones sean estables".

No obstante, el presidente de Radio Fórmula, Rogerio Azcárraga, destaca la radio digital únicamente va a beneficiar a las estaciones de Frecuencia Modulada (FM) y no así a las de Amplitud Modulada (AM). Azcárraga Madero explica que la calidad del sonido será evidente en FM pero en AM no se verá gran diferencia, por lo tanto, urgió a que "se igualen en la técnica las

emisoras de AM, las de FM y las digitales” para que la mayor parte de las emisoras se vuelvan Combo. Según el radiodifusor a la fecha 83 estaciones ya son Combo, es decir, transmiten por AM y FM de manera paralela.

La implantación total de esta nueva tecnología se prevé a muy largo plazo, sin la obligatoriedad de una desconexión analógica y ni siquiera de una sustitución de la tecnología analógica por la digital. Este planteamiento no es una exigencia para los difusores y tampoco es un incentivo para el desarrollo de la radiodifusión digital, pero sí muestra la presencia de barreras en su implantación.

La cuestión de las inversiones, será una de las mayores preocupaciones para muchos de los radiodifusores mexicanos. De acuerdo a los análisis de la SCyT, poco más del 30% de las estaciones de radio del país, necesitaran de grandes inversiones para modernizar la infraestructura (calculan 20 millones de dólares por estación).

Por lo anterior, se pronostica que al llevar a cabo la inevitable digitalización de la radio, el proceso de transición será complicado, ya que de acuerdo a experiencias de otros países se reconoce que en la primera etapa existirán pérdidas por la poca penetración de los receptores, pues el precio elevado ha sido por ahora, uno de los principales problemas.

## Capítulo VII: Conclusiones

### 1. Conclusiones

Este trabajo ha presentado los principales progresos técnicos de los sistemas y servicios de Radiodifusión Sonora Digital Terrestre además de la radiodifusión por satélite, dentro del mundo. Se ha dado énfasis a los sistemas IBOC y Eureka 147 por la posibilidad que tienen de ser adoptados por México.

Estos progresos incluyen avances en técnicas de: compresión de audio digital, de codificación de canal, modulación y multiplexación.

Como resultado de este estudio podemos decir que por el momento el sistema Eureka147 es técnicamente superior a otros sistemas de radiodifusión digital, debido a que fue concebido con una característica importante como lo es el uso de una banda de frecuencia más alta a las utilizadas en AM o FM, y con ello tiene la posibilidad de manejar mayor ancho de banda, lo que le da mayor flexibilidad, frente a otros sistemas.

IBOC por su parte se ha desarrollado satisfactoriamente para la banda de FM, aunque con resultados pobres con respecto a Eureka 147, aceptables para las metas propuestas por los radiodifusores en Estados Unidos, En cambio los resultados obtenidos con relación a la banda de AM, no convencen aún, por lo que el sistema es inoperante.

Mientras tanto DRM único estándar no propietario para bandas debajo de 30 [MHz] revitalizará las transmisiones de AM en las bandas de LF, MF y sobretodo HF, donde DRM ha demostrado una excelente calidad. Todo esto en Europa donde el sistema ha tenido un excelente apoyo. En México existe poco interés ya que solo existen las transmisiones de AM en MF, aunado a la baja popularidad que han tenido los servicios de AM, nos da como resultado un desaliento en los radiodifusores con respecto a la inversión.

Los sistemas por satélite representan una fuerte competencia para la radio digital terrestre, ya que son sistemas totalmente implementados pero dirigido a un mercado limitado.

Actualmente nos encontramos en una fase de reordenamiento, pruebas y experimentación de los sistemas de radiodifusión sonora digital, por lo que es importante hacer notar que muchas de las técnicas descritas no serán utilizadas en los sistemas finales, tal cual se exponen, pues inevitablemente sufrirán modificaciones después del despliegue inicial de acuerdo con los resultados obtenidos, una vez implementados los servicios.

Pero el adoptar un sistema de radiodifusión nuevo implica toda una reestructuración en varios aspectos no solo el tecnológico o técnico, sino también el económico y por supuesto el legal, donde podemos decir que IBOC tiene ventajas, pues ofrece una transición más suave, propone moverse desde la transmisión analógica a un sistema híbrido que inserta señales digitales a lo largo de las dos bandas laterales de la señal analógica. Y después sustituir totalmente la señal analógica por las señales digitales que pueden llevar servicios adicionales, bajo estas medidas el mercado se adaptará gradualmente al nuevo sistema.

En cambio Eureka-147 requiere arduo trabajo en cuestión de regulación ya que es un servicio distinto, su implantación en los principales países europeos ha sido, muy lenta y problemática, IBOC no requiere tanto esfuerzo con las estrategias de regulación pero si es necesario contar con una distribución espectral más rigurosa lo cual nos ayude a obtener un servicio que no cause interferencias.

Si bien una buena cobertura, contenidos atractivos con aplicaciones como: información del tráfico, avisos de emergencia, radiobúsqueda, información relacionada con los programas radiofónicos, envío de mensajes de texto, entre otros servicios, y principalmente una mejora en la calidad musical son factores clave para adoptar la radio digital. Esta situación se convierte en un círculo vicioso mientras la industria pospone sus inversiones hasta que no haya una situación de negocio clara.

Las principales barreras con la que los sistemas digitales se han encontrado son: falta de incentivos comerciales, mercado publicitario poco adecuado, ausencia de estrategias para el despliegue, dudas en la recuperación de los costes de infraestructura, insuficiente financiamiento en el lanzamiento, precio de los receptores elevado, escaso atractivo o desconocimiento de los nuevos servicios entre los radiocuchas, Los servicios de valor añadido, son un campo en el cual no existen todavía productos suficientemente maduros ni enfocados específicamente para la radio digital. Por lo anterior podemos asegurar que, por encima de las aportaciones técnicas lo que interesa al destinatario son los contenidos y servicios que pueda recibir de las mismas por lo que un reto será la innovación de los distintos servicios que la radio digital aporte a la radiodifusión convencional.

En México se ha pospuesto la definición del sistema a adoptar, lo cual refleja la presencia de desacuerdos, por lo que será importante obtener definiciones concretas y conciliar intereses. Indudablemente las nuevas condiciones tecnológicas obligan a originar cambios importantes, por eso hoy se discuten intentando alcanzar consensos.

La cuestión de las inversiones es una de las mayores preocupaciones para muchos de los radiodifusores mexicanos, debido a que la posición económica difiere entre ellos. De acuerdo con los análisis de la SCyT, poco más del 30% de las estaciones de radio del país, necesitarán de grandes inversiones para modernizar la infraestructura. Por tanto, se prevé que para el 2006, solo un 5% de las emisoras de radio operarían con tecnología digital. Por lo anterior, se pronostica que al llevar a cabo la inevitable digitalización de la radio, el proceso de transición será complicado, ya que de acuerdo con experiencias de otros países se reconoce que en la primera etapa existirán pérdidas por la poca penetración de los receptores, pues el precio elevado ha sido por ahora, uno de los principales problemas.

Ante estos posibles escenarios, podemos decir que el despegue de la radiodifusión Sonora Digital Terrestre en México impulsado por la legislación y por la inversión privada, promete ser costoso pero sin duda vale la pena. La implantación total de esta nueva tecnología se prevé a muy largo plazo, sin la obligatoriedad de una desconexión analógica y ni siquiera de una sustitución de la tecnología analógica por la digital.

Por todo lo anterior es importante que México no retrase más la decisión del sistema a adoptar y así tener la posibilidad de empezar a trabajar, en los requerimientos que los sistemas digitales impondrán para la conversión digital

## Anexo : Principales Receptores Para los Sistemas de Radiodifusión Digital

### ➤ Receptores para el Sistema Eureka 147 DAB

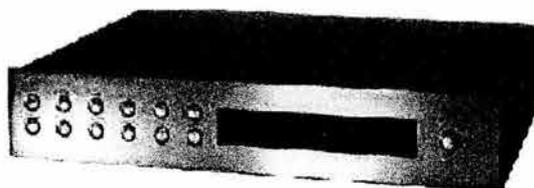
#### Receptores Domésticos

Los principales fabricantes para receptores domésticos son: Acoustic Solutions , Arcam, Cambridge Audio, Cymbol, Goodmans, Intempo Kiiro Maycom Pure Digital Restek, Roberts, TAG McLaren, y TEAC.



Acoustic Solutions SP110 DAB Tuner / SP111 DAB Tuner

Receptor SP110 DAB / SP111 DAB fabricado por Acoustic Solutions. Es un receptor para DAB y FM con reproductor de CD. Costo 100 Euros (\$1400M.N.).



Cymbol - The C-DAB I Digital Radio Tuner

Receptor C-DAB I, fabricado por Cymbol. Es un receptor para DAB, que puede trabajar en banda III y banda L Costo 999 Euros (\$13,986M.N.).



The Avant Garde T32R DAB



AV32R / DPA32R<sup>DAB</sup>

Receptor AV32R / DPA32R , fabricado por TAG McLaren. Costo 2295 Euros (\$32,130M.N).

### Receptores para Vehículos

Los principales fabricantes para receptores para vehiculos son: Alpine, Blaupunkt, Clarion, Goodmans, Grundig, JVC, Kenwood, Panasonic, Pioneer, VDO Dayton.



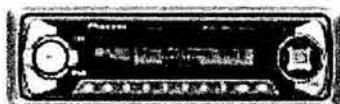
DAB Tuner KTC-9090DAB

Receptor KTC-9090DAB, fabricado por Kenwood. Es un receptor para DAB con reproductor de CD, Cassette o MD. Costo 450 Euros (\$6,300M.N.).



VDO Dayton - MS4000

Receptor MS 4000, fabricado por VDO Dayton. Es un receptor DAB y FM, con reproductor CD, manejo directo o remoto con instrucciones de voz. Costo 1300 (\$1,800M.N.) con costo extra de 600 Euros (\$8,400M.N.) con sistema DAB.



Receptor DEH-P90DAB, fabricado por Pioneer. Es un receptor DAB con reproductor de CD, con opción de control remoto por voz. Costo 1000 Euros (14,000M.N.)



Receptor GEX-P700DAB, es un receptor DAB para auto. Costo 299 Euros (\$4,186M.N.)

#### Receptores Portátiles:



Maycom-DP21 Es un receptor DAB y reproductor MP3.



TMOSDR011, es un receptor DAB portátil

## ➤ Receptores para el Sistema DRM

### Receptores Hi-Fi



Receptor prototipo NewsBox DRM. Fue desarrollado en el proyecto RadioMundo de BMBF. No solamente permite recibir audio DRM sino incluye recepción para DAB.

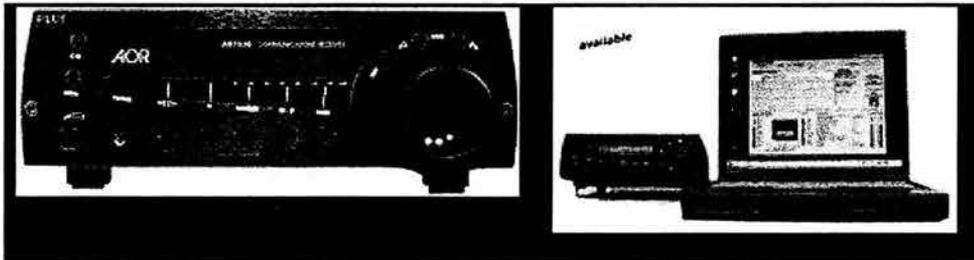


Receptor analógico y DRM en bandas LF, MF y HF desarrollado por Coding Technologies.

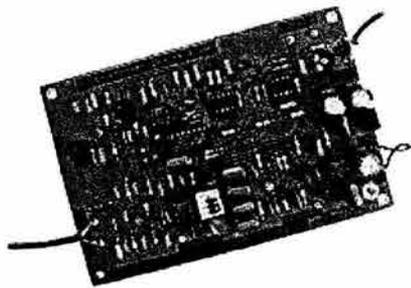


Receptor 6 DRM 2010 analógico y DRM en bandas LF, MF y HF desarrollado por Mayah Communications con un costo de 695 Euros (\$9,730 M.N.)

## Receptores para PC



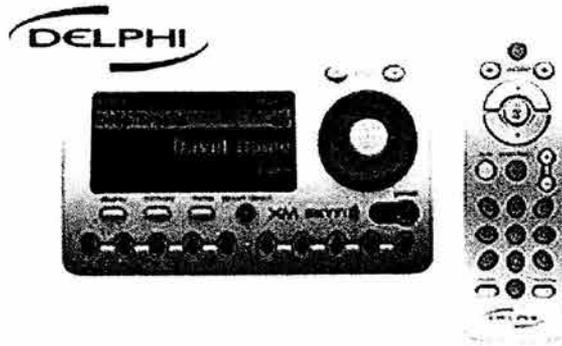
Receptor AOR (UK) para trabajar hasta 32 [MHz]



Receptor RX-350D desarrollado por Ten-Tec listo para utilizar Software DRM. Costo \$1199 USD (\$13,189 M.N.)

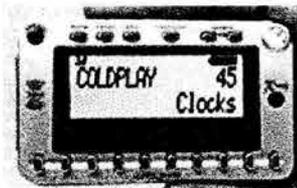
### ➤ Receptores para el Sistema XM Satellite Radio

Los fabricantes principales son: Sony, Pioneer, Alpine y Delphi.

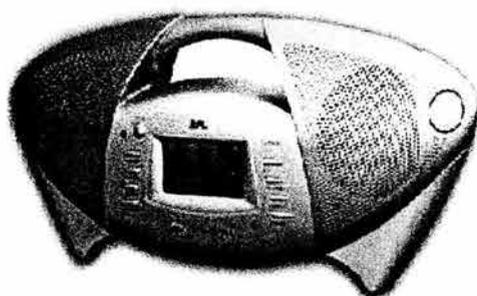


Delphi Skyfi XM Radio Receiver for Home

Receptor para servicio de radiodifusión satelital XM para auto, con reproductor de cassette. Costo \$119.99 USD (\$1,319.89M.N.). Con adaptador casero \$169.9 USD (\$1,868.9M.N)



➤ **Receptores para el Sistema Satelital WorldSpace**

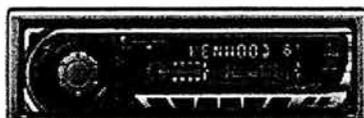


Receptor para el Sistema Worldspace con receptor AM y FM. Costo 139 Euros (\$1,946M.N.)



Receptor Worldspace Costo 119 Euros (\$1,666M.N)

➤ **Receptores para el Sistema Satelital Sirius**



Receptor satelital para Sirios, Kenwood KDC 322CD Costo \$169.95 USD (\$1,869.45M.N.)



Receptor satelital para Sirios, Panasonic, reproductor para CD, Costo \$179.95USD (\$1,979.45M.N)



Receptor satelital para Sirios, Panasonic CQ DFX783U CD, reproductor para CD, Costo \$249.95USD (\$2,749.45M.N.)



Receptor satelital para Sirios, Kenwood DT 7000S, Costo \$299.95USD (\$3,299.45M.N.)



Receptor satelital para Sirios, Plug & Play, con adaptador y receptor AM y FM, Costo \$169.80USD (\$1,867.8M.N.)



Receptor satelital para Sirios portatil con adaptador y receptor AM y FM, Costo \$ 169.80USD (\$1,867.8M.N.)

## Bibliografía:

Cardana, A., Jofre, L., Rius, J., Romeu, J., Blanch, S. Antenas Ed. Alfaomega.

Haykin, S. Sistemas de Comunicación Ed. Limusa Wiley.

Hoeg, W., Lauterbach, T. Digital Audio Broadcasting Principles and Applications Ed. John Wiley & Sons, LTD.

Tomasi, W. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas Ed. Pearson Educación.

## Artículos:

Bourlot, C. J., Vollmann, A.R. Reproductor Portátil De Audio Digital Comprimido Universidad Católica de Córdoba.

Briggs, J. Digital Broadcasting Below 30 MHz: DRM Digital Radio Mondiale. EBU , Technical Review October 2003.

Chen, B. Sundberg, C. An Integral Error Correction And Detection System For Digital Audio Broadcasting IEEE Transactions Broadcasting, Vol. 46, No.1, March 2000.

Cupo, R.L., Sarraf, M., Shariat, M., Zarrabizadeh, M. An OFDM All Digital In-Band-On-Channel (IBOC) AM y FM Radio Solution Using The PAC Encoder Publisher Item Identifier S0018-9316 (98) 03640-3. IEEE Transaction on Broadcasting, Vol. 44, No. 1. March 1998.

Dietz, M., Meltezer, S. Audio Coding Scheme Coding Technologies, Germany. EBU Technical Review. July 2002.

Faller, C., Juang, B., Kroon, P., Lou, H., Ramprashad, S., Sunberg, C. Technical Advances in Digital Audio Radio Broadcasting Proceedings of the IEEE, Vol, 90 No. 8. August 2002.

Faundez, M. Estandares de Codificación MPEG Escuela Universitaria Politecnica de Mataro.

García, M.B., Peralta, J.M., Pérez, J.J Aplicaciones Multimedia Sobre Radio Digital Telefónica Investigación y Desarrollo.

Jonson, S. A. The Structure and Generation of Robust Waveforms for AM In Band On Channel Digital Broadcasting iBiquity Digital Corporation.

Mazer, R., Shuldiner, A. Comments of USA Digital Radio, INC Counsel for USA Digital Radio, Inc. January 24, 2002..

Noll, P. Speech and Audio Coding for Multimedia Communications Technische Universitat Berlin.

Shelswell, P. COFDM The Modulation System for Digital Radio BBC Research Development & Department

Stott, J.H. Tutorial COFDM EBU Technical Review. BBC Research Development & Department

Stott, J **DRM, Key Technical Features Digital Radio** Mondiale. EBU Technical Review. March 2001

### **Referencias Electrónicas:**

Asociación de Radiodifusores del Valle de México: <http://www.arvm.com.mx/>

Cámara Nacional de la Industria la Radio y la Televisión: <http://www.cirt.com.mx/>

Coding Technologies: <http://www.codingtechnologies.com>.

Comisión Federal de Telecomunicaciones: <http://www.cft.gob.mx/>

Digital Radio Mondiale: <http://www.drm.org/>

European Broadcasting Union: <http://www.ebu.ch/>

European Telecommunications Standards Institute: <http://www.etsi.org/>

Federal Communications Commission: <http://www.fcc.gov/>

Grupo Radio y Television Española: <http://www.rtve.es/>

iBiquity Digital: <http://www.ibiquity.com>.

Institut Integrierte Schaltugen Fraunhofer: <http://www.iis.fraunhofer.de/>

Institute of Electrical and Electronics Engineers: <http://www.ieee.org/>

International Telecommunication Union: <http://www.itu.int/>

National Association of Broadcasters: <http://www.nab.org/>

Radio Magazine: <http://beradio.com/>

Radio Mexicana: <http://radiomexicana.tripod.com.mx/>

Radio World Newspaper: <http://www.rwonline.com/>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes: <http://www.sct.gob.mx/>

Sirius Satellite Radio: <http://www.siriusradio.com>

Software Digital Radio Mondiale: <http://www.drmrx.org>

Teo Veras S.A.: <http://www.teoveras.com.do/>

World DAB Forum: <http://www.worlddab.org/>

Worldspace Corp.: <http://www.worldspace.com>

XM Satellite Radio: <http://www.xmradio.com>