



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGON**

“SISTEMAS DE RADIODIFUSION DIGITAL EN MÉXICO”

T E S I S:

PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICO
AREA: ELECTRICA - ELECTRÓNICA
P R E S E N T A:
DAVID GARCIA DEL VALLE

ASESOR: ING. JOSE LUIS PEREZ BAEZ



m. 342409



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

“Nosotros somos dueños de nuestras vidas. Nadie marca nuestro destino.
Si aprovechamos la oportunidad que la vida nos presenta
Podremos ser iguales de grandes que nuestras metas....
Si al final de nuestras vidas llegamos a la conclusión de que todo lo que
hicimos fue producto de lo mejor de nosotros mismos, entonces podremos
afirmar que nuestra vida fue un triunfo”.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
y ala ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
por ser mi segunda casa por haberme dado la oportunidad de formarme
como profesionista.

A MIS PADRES con todo cariño y respeto
por su amor, sacrificio y paciencia por todo
GRACIAS

A MIS HERMANOS quienes son parte fundamental
en mi vida, por todo su apoyo con mucho cariño.
NOEMÍ, ANABEL Y ARTURO

A MIS SINODALES

ING. JUAN GASTALDI PEREZ

ING. JOSE LUIS PEREZ BAEZ

ING. ADRIAN PAREDES ROMERO

ING. ENRIQUE GARCIA GUZMÁN

ING. JOSE LUIS GARCIA ESPINOSA

Por su apoyo en las correcciones necesarias de este trabajo y el apoyo que hubo durante el tiempo que estuve como estudiante.

A los INGENIEROS de la CIRT, SCT y TELECOMM. por haberme concedido entrevistas e información para la realización de este trabajo. GRACIAS

A la familia del TAEKWONDO en especial a los Integrantes del Equipo de Aragón Rebeca, Lizbeth, Martín , a todos.

"EXISTE ALGO EN LA VIDA PEOR QUE NO HABER TRIUNFADO Y ES NO HABERLO INTENTADO"

A MIS AMIGOS del pasado y presente por seguir siendo parte de mi vida y tener buenos recuerdos en la secundaria. Ustedes saben quienes son.

A MI ASESOR por su inmensa ayuda, corrección y orientación en la realización de este trabajo que es una parte importante en mi vida profesional.

A Manuel por haber compartido este camino
académico dentro de la UNIVERSIDAD
y ser un buen amigo ¡ y aun falta seguir !.
A los amigos de la carrera de IME . Adrián
por las largas charlas y recuerdos en el
Estadio de CU apoyando a nuestro equipo.

Y por ultimo pero no menos importante. A DIOS
por todas las bendiciones otorgadas, por darme
la oportunidad de disfrutar el placer de vivir.

“Si lo puedes soñar lo puedes lograr”

Albert Einstein

OBJETIVO:

- ◆ **Estudiar y analizar la implementación de los sistemas de radiodifusión comercial de tipo digital en México de acuerdo a la normatividad CAMR-92 de la UIT.**
- ◆ **Proporcionar información sobre los sistemas de radiodifusión digital**

HIPÓTESIS:

Los avances tecnológicos para México deben estar a la vanguardia de la mayoría de los países desarrollados como la Comunidad Europea o Estados Unidos por ser un país vecino, y que es conveniente para México que tome medidas para proporcionar información adecuada, y adoptar un sistema sobre las nuevas tecnologías para la radiodifusión, por lo tanto en este estudio verificaremos que los sistemas de radiodifusión digital son una alternativa tecnológica que mejora minimamente al doble la calidad de los actuales sistemas de radiodifusión.

INDICE

INTRODUCCION

ANTECEDENTES

CAPITULO 1: CONSIDERACIONES TEORICAS

1.1 Tipos de Onda	1
1.2 Polarización de una Onda	2
1.3 Manejo del espectro Electromagnético	4
1.4 Conceptos básicos en el procesamiento de Señales	5
1.5 Tipos de Modulación de pulsos	7
1.6 Modulación	11
1.7 Corrección de errores	13
1.8 Tasa de bits erróneos	14
1.9 Compresión de señales	14

CAPITULO 2: SISTEMAS IBOC Y EUREKA-147

2.1. Participación de la UIT	15
2.1.2 Posición de los EUA antes y después de la CAMR-92	16
2.1.3 Posición de Europa sobre DAB	18
2.2 ¿Qué es Eureka-147?	18
2.2.1 Codificación de la señal de entrada	20
2.2.2 Modulación CODFM	25
2.2.3 Decodificación DAB-Receptor	28
2.2.4 Topología de red SFN	29
2.2.5 Características DAB	31
2.2.6 Información del Sistema IBOC	32
2.2.7 Funcionamiento	35
2.2.8 Características IBOC	41
2.2.9 Presente y Futuro de IBOC Y DAB	43

CAPITULO 3: SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN DE AUDIO POR SATELITE (DARS)

3.1. Sistemas operativos	46
3.1.1 XM Radio	48
3.1.2 Sirius Satellite Radio	52
3.1.3 World Space	53
3.1.4 Aspectos técnicos de la transmisión de radio vía satélite	58

CAPITULO 4: CASO MÉXICO DARS

4.1. Caso México con un solo satélite	61
4.1.1 Análisis Técnico	62

INDICE

4.1.2 Cobertura en Centroamérica y Norte de Sudamérica	65
4.1.3 Homogeneidad Cultural y Costo	66
4.1.4 Aspecto regulatorio	67
4.2 Configuración con dos Satélites en las posiciones 77° O y 127° O	68
4.2.1 Análisis del Mercado y Consideraciones comerciales	69
4.2.2 Configuración de Carga Útil compartida DARS -Banda L	72
4.2.3 Capacidad y Espectro	74
4.2.4 Potencia del Satélite	76
CAPITULO 5: PROPUESTA DE IMPLEMENTACION EN MÉXICO	
5.1 Estudios previos de diseño	78
5.1.1 Área geográfica	85
5.1.2 Topografía del área	86
5.1.3 Características técnicas de los equipos existentes	87
5.1.4 Diseño de cobertura	88
5.1.5 Dimensionamiento de equipo	91
5.2 Resultados Esperados	92
CAPITULO 6: EVALUACIÓN ECONOMICA DEL PROYECTO	93
CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
GLOSARIO	99
BIBLIOGRAFÍA	102

INTRODUCCION

Los desarrollos de tecnología que se vienen sucediendo en los últimos años nos hacen prever que en el presente milenio, tendremos ante nosotros bastantes novedades que indudablemente cambiarán nuestro actual concepto de la radiodifusión.

Desde el año de 1920 en que aparecieron las primeras estaciones de AM hasta la fecha, o sea en mas de 70 años, la radio ha ido evolucionando en forma lenta para transformar los equipos y partes, sin embargo el fondo ha continuado igual o sea con el concepto original que inspiró Marconi para crear la aplicación de la teoría de la radiación electromagnética, descubierta por Maxwell y aprovechada por Marconi para realizar radiaciones a través de un elemento unifilar, que de hecho constituyó la primera antena de transmisión.

Efectivamente, la radio a través del tiempo no había sufrido un cambio tan importante y trascendente como el que está a punto de sufrir, con la operación de la Radiodifusión Sonora Digital, concepto que significa dejar por completo la era analógica y entrar de lleno no solo a la digitalización sino de recibir un servicio de calidad como quizá anteriormente no se había hecho nunca. La magia de la tecnología está a punto de transportarnos a un nuevo mundo en el cual la pureza del sonido y la calidad son requisitos indispensables en el gusto de las personas y, que la radio, fiel compañera por mucho tiempo de los muchos millones de público radioescucha, podrá orgullosamente ofrecer algo nuevo, que no era posible ofrecer antes.

Cómo concepto, la Radiodifusión Sonora Digital no solo significa un cambio tecnológico, significa también penetrar a un nuevo mundo en que se perfeccione el trabajo creativo del hombre, surgiendo en esta forma nuevos conceptos y formas de producción, de programación, de comercialización, todo ello propiciado por un cambio en la tecnología.

El presente trabajo pretende dar una visión de las ventajas y características de esta tecnología en general

ANTECEDENTES

XM RADIO

El 18 de mayo de 2001, fue lanzado el segundo satélite de XM cuyo nombre es "Roll". El primer satélite "Rock" fue lanzado el 8 de enero del mismo año, por lo que "Rock" & "Roll" ya están operando y en órbita. El segundo satélite cuya masa es de 4,672 kilogramos, está localizado en 85° de latitud oeste, el primero, en cambio, está ubicado a 115° de latitud oeste. Ambos satélites están localizados en una órbita geoestacionaria (GEO) cubriendo a los EVA. El bus del satélite es el modelo HS 702, construido por uno de los fabricantes más importantes de satélites, Boeing Satellite Systems.

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 TWTS (*Travelin wave tube*) activos de 228 watts (más seis reservas), generando aproximadamente 3,000 watts de señal de RF (radio frecuencia).

XM Satellite Radio realizó inversiones estratégicas con compañías de TV, radio y automovilísticas. Entre ellas se encuentran: General Motors, Honda, Clear Channel Communications, DirecTV y Motient.

Los DSR de XM están siendo fabricados por Sony, Alpine, Pioneer, Clarión, Blaupunkt, Delphi-Delco, Visten, Panasonic y Sanyo

SIRIUS

Sirius satellite radio es otra compañía estadounidense que empezó a ofrecer su servicio de radio por satélite a partir de abril de 2002, en 11 estados de la unión americana, y tendrá 50 canales de música sin comerciales y otros 50 de noticias, deportes, conciertos en vivo y otra serie de eventos de entretenimiento en todo el país de EU.

Para reforzar su programación, Sirius estableció alianzas estratégicas con CNBC, Nacional Publica Radio, Outdoor Life Networks, Speedvision, USA Network, SCI FI, la BBC de Londres y una cadena hispana de radio.

Compañías como Chrysler, BMW, Ford, Jaguar, Mazda, Jeep, Audi, y Volvo son parte de los 7 millones de vehículos por año, casi la mitad de la línea de producción de Estados Unidos, que vendrán equipados con DSR.

Un cuarto satélite de reserva será lanzado para sustituir a cualquiera de los otros tres satélites en caso de que uno falle. Los satélites fueron construidos por la compañía californiana Space Systems/Loral

WORLDSPACE

WorldSpace fue la compañía pionera mundialmente en radio por satélite, puso dos de sus tres satélites (Afristar y AsiaStar) en órbita geoestacionaria antes que XM y Sirius.

Afristar y AsiaStar fueron lanzados en octubre de 1998 y en marzo de 2000, respectivamente. Un tercer satélite llamado Ameristar cubrirá gran parte del continente americano. Cada satélite transmite tres haces con más de 40 canales de programación disponible en una multitud de lenguajes incluyendo el inglés, francés, alemán, español, árabe, italiano, hindú y pakistani, entre otros.

Los haces de WorldSpace están dirigidos particularmente a los países vías en desarrollo, ubicados en África, Asia y América

DARS EN MEXICO

En 1999 representantes de los gobiernos de Estados Unidos y México se tuvo conversaciones para compartir la banda S, a fin de evitar interferencias ante el próximo inicio de transmisiones de los servicios de radiodifusión sonora digital (DAB) directa por satélite.

Estos servicios, más conocidos en Estados Unidos como DARS, se desarrollarán dentro el segmento que va de los 2310 a los 2360 Megahertz, luego del aviso que ambos países hicieron a la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) para utilizar dicho espacio del espectro radioeléctrico.

El 6 de octubre de 2003 en uno de los salones del hotel sede, el Camino Real, se colocaron los siguientes receptores de radio digital para que los asistentes al evento tuvieran la oportunidad de escucharlos y comparar la calidad de sonido: 1 de IBOC, 3 de Eureka, 2 de Sirius Satellite Radio, 1 de XM Satellite Radio, 1 PDA (mejor conocidas como Palm) y 1 Laptop.

Todas las transmisiones se realizaron en vivo y la recepción pudo hacerse en un salón acondicionado y ecualizado, con el fin de que la escucha no fuera plana. También, según sus organizadores, hubo las mismas condiciones de escucha, para no dar preferencia a ningún sistema.

La incorporación de los sistemas DARS en estas demostraciones fue sólo de exhibición. Según el director de Ingeniería de la CIRT, Jaime Robledo Romero, esto se hizo para que los radiodifusores mexicanos analicen si estos nuevos sistemas constituyen una competencia, tanto en auditorio como en ventas.

POSICION DE EUROPA SOBRE EL DAB:

La Comunidad Económica Europea ya desde hace varios años ha venido desarrollando una nueva tecnología para la transmisión de la radiodifusión sonora digital, estos trabajos culminaron en el año de 1988, llevando a cabo una demostración pública a los delegados que asistieron a la Conferencia Administrativa Mundial de Satélites (Orb. 88) en Ginebra, sobre el sistema Eureka 147, demostrando en ese lugar que con unos cuantos watts se podía transmitir una señal de gran calidad que cumplía con los requisitos impuestos por la UIT.

En más de 20 países del mundo la DAB, bajo el estándar europeo Eureka 147, ya es una realidad. Según un documento preparado por el Foro World DAB, disponible en Internet, la situación a nivel mundial se encuentra en términos generales así:

Australia: realiza transmisiones experimentales terrestres en tres de sus ciudades más importantes, así como pruebas satelitales.

Bélgica: una compañía de radiodifusión que atiende a la comunidad flamenca compró 14 transmisores de DAB para llevar a cabo transmisiones para una población de cinco millones de personas.

China: el 15 de diciembre de 1996 fueron inauguradas tres estaciones experimentales de DAB. A la fecha, hay adelantos para adoptar legalmente el sistema Eureka 147.

Dinamarca: de 1995 a 1997 la Radio Danesa ha instalado transmisores en Copenhague y ciudades cercanas. Asimismo lleva a cabo estudios de mercado y audiencia con 500 usuarios que cuentan con receptores de DAB.

Finlandia: desde 1996, la radio pública y estatal realiza transmisiones experimentales nacionales y regionales.

ANTECEDENTES

Francia: también desde 1996, radiodifusoras públicas y privadas han recibido licencias para transmitir DAB. El presidente de este país manifestó en octubre de ese año que la DAB es formidable; declaración que fue tomada por el World DAB como un lema comercial extraordinario.

Alemania: es uno de los países donde la DAB ha crecido de forma importante y por ello sus transmisiones cubren a casi el 40 por ciento de la población. Las radiodifusoras públicas lo hacen a nivel nacional, mientras que las privadas, a nivel local.

Hungría: inicia transmisiones experimentales en Budapest desde el 1º de diciembre de 1995 y actualmente cubre con su servicio a tres millones de personas.

India: por su orografía, este país considera el uso del Eureka 147 para transmisiones terrestres y satelitales; tiene varios años realizando pruebas.

Italia: la RAI hace transmisiones piloto desde hace varios años en diversas ciudades y, junto con estaciones privadas, trabajan con el gobierno en la planificación del espectro para tener operaciones permanentes, inicialmente, en Turín y Milán.

Japón: ninguna decisión ha tomado el ministerio japonés de Correos y las Telecomunicaciones, pero el sistema que tiene más simpatías, incluso de la NHK, es el Eureka 147.

Holanda: es un país muy adelantado en la introducción de la DAB; a la fecha tiene instalados tres transmisores que difunden ocho canales de audio y uno de datos con información meteorológica, financiera, etc. Sus señales alcanzan al 45 por ciento de la población.

Noruega: cuatro transmisores operan en esta nación, tres de ellos en una red única de frecuencia en la ciudad de Oslo.

Polonia: desde abril de 1996 la Radio Polaca comenzó a transmitir en la ciudad de Varsovia; en breve serán incorporadas más ciudades.

Sudáfrica: en Johannesburgo se realizan pruebas piloto con el sistema europeo.

España: la empresa SER ha realizado desde 1996 algunas pruebas técnicas. En mayo de 1997 se realizaron transmisiones públicas en Barcelona, con motivo de una exposición internacional de vehículos.

Suecia: desde septiembre de 1995 la Radio Sueca transmite DAB y hasta ahora cubre al 45 por ciento de la población; se estima que para 1999 el 99 por ciento de los habitantes suecos estarán en posibilidades de tener acceso al servicio.

Suiza: radiodifusoras públicas y privadas hacen transmisiones piloto en diversas partes del país; también realizan estudios de mercado con 200 personas que cuentan con receptores de DAB.

Reino Unido: la BBC transmite DAB en Londres desde septiembre de 1995 y ahora

ANTECEDENTES

construye una red para cubrir, este mismo año, al 60 por ciento de la población del país.

CANADÁ Y EL SISTEMA EUROPEO

Un caso especial es el de Canadá, país que ha avanzado mucho en la introducción de la DAB con el sistema europeo. Sus transmisiones en Toronto, Montreal, Ottawa y Vancouver, les han permitido trabajar en parámetros técnicos y en la planificación de frecuencias. Algunas compañías (Kenwood, Pioneer, Clarion, Panasonic, Grunding, Fujitsu y Bosch/Blaupunkt) venden sus receptores capaces de recibir señales digitales en comercios de Canadá y, por supuesto, de Europa.

EUREKA EN MÉXICO

El pasado día 7 de octubre de 2003 en el marco de los trabajos de la XLV Semana Nacional de Radio y Televisión, el Arquitecto Pedro Cerisola y Webber, titular de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 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.

Los sistemas que se ponen a prueba son el europeo Eureka 147 y el estadounidense In Band On Channel (IBOC, por sus siglas en inglés) en la banda de FM.

Las transmisiones se realizan desde el Cerro del Chiquihuite, ubicado al norte de la capital. Ahí se ubican los transmisores de las estaciones de FM de Grupo Radio Centro (GRC), empresa que obtuvo el permiso de la SCT para estas transmisiones digitales, que se realizan bajo la coordinación de la Cámara Nacional de la Industria de Radio y Televisión (CIRT).

El sistema Eureka 147 es probado con un equipo de la compañía Harris, mientras que el iBOC con un transmisor de la empresa Broadcast Electronics. Ambos equipos fueron prestados por los promotores de los sistemas para que los ingenieros mexicanos puedan utilizarlos con toda libertad y realizar las pruebas que consideren necesarias.

De acuerdo con el permiso otorgado por la SCT a GRC, las pruebas del sistema Eureka 147 se desarrollan entre los 1467.618 MHz. y los 1469.262 MHz., de la banda L. La potencia máxima asignada para estas pruebas es de 1553 watts, con el siguiente distintivo de la estación experimental: XHEURK-RD.

EL SISTEMA "IN BANDA "ON CHANNEL (IBOC)

Los EUA al no poder alinearse con el resto de los países del continente Americano. a partir del año de 1991 tomó la decisión de desarrollar otro tipo de tecnología diferente a la lograda por Eureka 147 y basándose al hecho de no utilizar ninguna cantidad de espectro radioeléctrico fuera del asignado ya a los diferentes servicios de radiodifusión existente en AM y FM.

Los objetivos que se fijaron para el desarrollo de la radiodifusión sonora digital son los siguientes:

- A.-Debe ser eficiente desde el punto de vista de la ocupación del espectro.
- B.-Debe ofrecer una mayor fidelidad de sonido.
- C.-Debe de estar al alcance de todas las radiodifusoras existentes de AM y FM.
- D.-No debe afectar la integridad económica de las radiodifusoras de AM y FM

ANTECEDENTES

existentes.

E.-El receptor debe estar al alcance del consumidor promedio.

F.-Debe ser fácil de implementar administrativamente.

IBiquity anunció el 1 de octubre del 2003 a través de un comunicado de prensa que 280 emisoras en más de 100 mercados, han obtenido licencias tecnológicas de la compañía y han empezado la transmisión de la Radio HD o están en el proceso de conversión. Acumulativamente, estos mercados representan a más de 145 millones de radioescuchas o casi dos tercios de lo ubicado por Arbitron. Como resultado, la compañía ahora cree que excederá fácilmente su meta de principios del año, de licenciar 300 estaciones, que ayudaran a crear el conocimiento y la demanda inicial para la introducción a los consumidores de la Radio HD que se planea que comience en la Exposición Internacional de Electrónica de Consumo (CES, por sus siglas en Inglés) en Enero del 2004.

Mientras tanto en la ciudad de México del 6 de octubre de 2003 al 5 de junio de 2004, se realizarán en esta ciudad las primeras pruebas formales de los sistemas digitales de radio. Los resultados de estas transmisiones, serán la base técnica para la elección del sistema definitivo de radio digital que se desarrollará en México. Durante las pruebas se miden diferentes parámetros: alcance de las transmisiones, inmunidad a interferencias, respuesta de recepción y pruebas acústicas, tanto en receptores fijos como móviles.

Las pruebas del IBOC-FM se realizan en la frecuencia 91.3, en la cual transmite la estación XHFAJ-FM Alfa Radio. Para las transmisiones con el equipo digital se autorizó una potencia máxima de 3171 Watts y el distintivo: XHIBOC-RD.

CAPITULO I

CONSIDERACIONES TEORICAS

1.1 TIPOS DE ONDA

Una onda es definida como una perturbación física en un medio elástico. Es necesario reconocer que no todas las perturbaciones son necesariamente mecánicas; por ejemplo ondas de luz, ondas de radio y radiación térmica propagan su energía por medio de perturbaciones eléctricas y magnéticas. No hay un medio físico para la transmisión de ondas electromagnéticas. Las características principales de una onda son:

a) Velocidad de propagación

La velocidad de transmisión de las ondas eléctricas tanto en el aire como en el vacío es de más o menos 300,000 Km/seg. Y se denomina como la velocidad de la luz (c) si determina un punto en el medio de transmisión nos podemos dar cuenta que el número de oscilaciones no varía en ese punto, de las producidas por el objeto oscilador, sea cual sea el medio de transmisión por lo tanto las ondas adoptan diferentes longitudes.

b) Longitud de onda

Es la distancia que tarda en recorrer un ciclo completo. La longitud de las ondas eléctricas en el vacío (espacio libre) se calcula con la siguiente ecuación:

$$y = \frac{c}{f}$$

c = velocidad de la luz 3×10^8 m/seg
 f = frecuencia de transmisión (hz.)

c) Fase

Cuando el elemento oscilador crea ondas regulares se puede observar que de cualquier punto de la onda a otro, a una longitud de onda exacta sus formas son semejantes por lo tanto en vez de representar a la onda en su forma continua se le puede representar solo por la longitud de onda con valor de 360° (2radian); es lo que recibe el nombre de ángulo de fase.

Las ondas se clasifican de acuerdo con el tipo de movimiento de una parte local del medio es perpendicular a la dirección de propagación de la onda, como por ejemplo en una cuerda.

En una onda longitudinal la vibración de las partículas individuales es paralela a la dirección de propagación de la onda como sucede en un resorte.

Una onda electromagnética, se puede definir como aquella que está constituida por campos eléctricos y magnéticos que se propagan a través del espacio libre. La región de un campo comienza donde las fuerzas eléctricas o magnéticas actúan. Los campos magnéticos y eléctricos en el espacio que son producidos por una antena viajan grandes distancias y transportan energía, la cual se denomina como radiación.

La luz es un tipo de radiación electromagnética y su naturaleza no es diferente de otros tipos de radiaciones electromagnéticas, como el calor, ondas de radio, o radiación ultravioleta, pero la característica que distingue a la luz de otras radiaciones es su energía.

La teoría electromagnética de la luz establece que ésta se propaga como campos transversales oscilatorios. La energía se reparte de igual manera entre los campos eléctrico E y magnético B , que son mutuamente perpendiculares.

A menudo, el estudio de las ondas electromagnéticas, se basa en el estudio de las características de la luz, y éstas se asocian y se generalizan para todas las ondas electromagnéticas.

A continuación mencionamos las características de las ondas electromagnéticas, las cuáles son:

- Que su propagación es de manera rectilínea
- Las ondas electromagnéticas se reflejan cuando inciden sobre una superficie lisa, y retornan al medio original.
- Las ondas electromagnéticas se refractan, es decir, cambian de trayectoria cuando entran en un medio transparente.
- La energía de una onda electromagnética se reparte de igual manera entre campos eléctricos y magnéticos mutuamente perpendiculares, y ambos campos oscilan perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda.
- Las ondas electromagnéticas se propagan a la velocidad de la luz, y su valor es igual a $c = 3 \times 10^8$ m/s
- Las ondas electromagnéticas pueden ser polarizadas.

1.2 POLARIZACION DE UNA ONDA

Se entiende por polarización de una onda plana uniforme al comportamiento temporal de la intensidad del campo eléctrico en un punto fijo del espacio. Considérese, por ejemplo, una onda plana uniforme que viaja en sentido z con los vectores E y H situados en el plano x - y . Si $E_y = 0$ y sólo está presente E_x , se dice que la onda está polarizada en la dirección x . Análogamente, podría establecerse cuando la onda estaba polarizada según y . Si hay las 2 componentes E_x y E_y y están en fase, el campo eléctrico resultante tiene una dirección dependiente de las magnitudes relativas de E_x y E_y . El ángulo que forme esta dirección con el eje x será:

$$\tan^{-1}(E_y/E_x)$$

Y será constante en el tiempo. En estos casos en los que el vector resultante es constante en el tiempo se dice que la onda está polarizada linealmente.

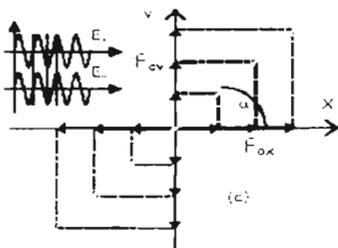


Figura 1.2 (a) Polarización lineales, E_x y E_y en fase con $E_x = E_y$

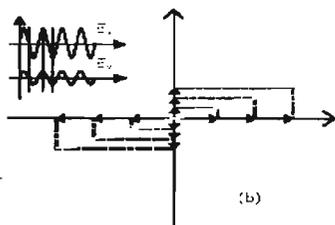


Figura 1.3 (b) Polarización lineal, E_x y E_y fase con $E_x - E_y$

Si E_x y E_y no están en fase, es decir, alcanzan sus valores máximos en instantes diferentes, entonces la dirección del vector eléctrico resultante variará en el tiempo. En este caso puede demostrarse que el lugar geométrico de los vértices de estos vectores resultantes E será una elipse diciéndose entonces que la onda está polarizada elípticamente. En el caso en particular en que E_x y E_y tengan igual magnitud y un desfase de 90 grados, el lugar será una circunferencia, hablándose entonces de polarización circular.

La polarización elíptica, es de hecho la forma más general de polarización. La polarización está completamente especificada por la orientación del eje mayor y por la razón de sus ejes, así como por el sentido de rotación del vector del campo eléctrico.

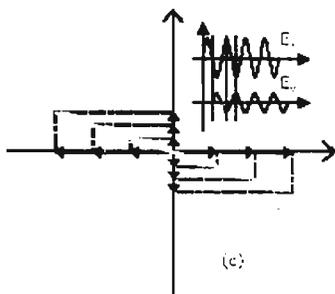
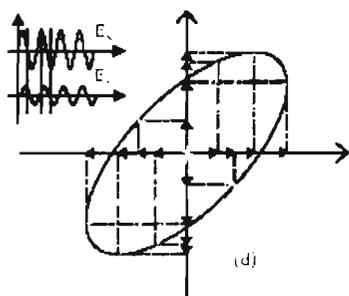


Figura 1.4 (c) Las ondas están en oposición de fase



1.3 MANEJO DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Se conoce como espectro electromagnético al rango de frecuencias que son utilizadas para las comunicaciones en general siendo continuo y sin separaciones entre una forma de radiación y otra los límites establecidos son meramente arbitrarios.

En los sistemas de comunicaciones vía satélite y otras aplicaciones de telecomunicaciones se trabaja en las bandas más altas de frecuencia como son la súper alta frecuencia (SHF), y la banda de extremadamente alta frecuencia (EHF), y dentro de éstas bandas existen sub-bandas como las que se encuentran mostradas.

DISTRIBUCIÓN CONVENCIONAL DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO					
SIGLA	DENOMINACIÓN	LONGITUD DE ONDA	GAMA DE FRECUENC.	CARACTERISTICAS	USO TIPICO
VLF	VERY LOW FRECUENCIAS Frecuencias muy bajas	30.000 m a 10.000 m	10 Khz. a 30 Khz.	Propagación por onda de tierra. atenuación débil. Características estables.	ENLACES DE RADIO A GRAN DISTANCIA
LF	LOW FRECUENCIAS Frecuencias bajas	10.000 m a 1.000 m	30 Khz. a 300 Khz.	Similar a la anterior. pero de características menos estables.	Enlaces de radio a gran distancia. ayuda a la navegación aérea y marítima.
MF	MEDIUM FRECUENCIAS Frecuencias medias	1.000 m a 100 m	300 Khz. a 3 MHz	Similar a la precedente pero con una absorción elevada durante el día. Propagación prevalentemente ionosférica durante la noche.	RADIODIFUSIÓN
HF	HIGH FRECUENCIAS Frecuencias altas	100 m a 10 m	3 MHz a 30 MHz	Propagación prevalentemente ionosférica con fuertes variaciones estacionales y en las diferentes horas del día y de la noche.	COMUNICACIONES DE TODO TIPO A MEDIA Y LARGA DISTANCIA
VHF	VERY HIGH FRECUENCIAS Frecuencias muy altas	10 m a 1 m	30 MHz a 300 MHz	Prevalentemente propagación directa. esporádicamente propagación ionosférica o Troposférica.	Enlaces de radio a corta distancia. TELEVISIÓN. FRECUENCIA MODULADA
UHF	ULTRA HIGH FRECUENCIAS Frecuencias ultra altas	1 m a 10 cm.	de 300 MHz a 3 GHz	Exclusivamente propagación directa. posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales.	Enlaces de radio. Radar. Ayuda a la navegación aérea. TELEVISIÓN
SHF	SUPER HIGH FRECUENCIAS Frecuencias superaltas	10 cm. a 1 cm.	de 3 GHz a 30 GHz	COMO LA PRECEDENTE	Radar. Enlaces de radio
EHF	EXTRA HIGH FRECUENCIAS Frecuencias extra-altas	1 cm. a 1 mm.	30 GHz a 300 GHz	COMO LA PRECEDENTE	COMO LA PRECEDENTE
EHF	EXTRA HIGH FRECUENCIAS Frecuencias extra-altas	1 mm. a 0.1 mm.	300 GHz a 3.000 GHz	COMO LA PRECEDENTE	COMO LA PRECEDENTE

Tabla 1.1 Espectro Radioeléctrico

Banda base (bb)

El término banda base se refiere a todas las frecuencias de información a transmitir y recibir. En el caso de radiocomunicaciones, la señal de bb constituye la fuente de información que modula el transmisor. Cuando una transmisión comprende una modulación múltiple, se considera que la banda base es la banda ocupada por la señal que se aplica a la primera etapa de modulación y no la banda ocupada por la señal modulada intermedia.

Ancho de banda

Antes de la modulación se expresa como la banda comprendida entre la frecuencia superior y la inferior de un canal de comunicaciones. En el sistema analógico se expresa como dos veces la frecuencia de información

Para una señal de datos en un sistema digital el ancho de banda se refiere al espacio que necesita una señal de comunicación para transmitirse en un medio, y se define mediante la siguiente ecuación:

$$AB = V_{in} (FEC)^{-1} (FM) (1 + \text{Rolloff}) \text{ (Hz)}$$

Donde:

V_{in} = velocidad de transmisión.

FEC = factor debido al código de corrección de errores por adelantado

FM = factor de modulación, su valor depende de la modulación empleada

Rolloff = factor de ensanchamiento del espectro (característica de los filtros del modem).

Para obtener el valor de factor de modulación se debe saber el tipo de modulación a emplear:

Si la modulación es BPSK FM = 1.0

Si la modulación es QPSK FM = 0.5

Por ejemplo si la modulación es QPSK entonces FM = 0.5

Sustituyendo valores en la ecuación anterior tenemos:

$$AB = 128 \times 10^3 (3/4)^{-1} (0.5) (1+0.14) = 97.28 \text{ KHz.}$$

Frecuencia Intermedia

Es la frecuencia resultante de la mezcla o combinación de la señal a transmitir, utilizado para la comunicación vía satélite es de 70 Mhz. Este cuenta con un amplificador para dar ganancia antes de pasar por el equipo de radiofrecuencia.

1.4 CONCEPTOS BÁSICOS EN EL PROCESAMIENTO DE SEÑALES

Principios de la Transmisión Digital

La transmisión de señales digitales, se refiere a la transmisión de pulsos digitales entre dos puntos, a través de un sistema de comunicación. La información de la fuente original, puede estar en un formato digital o ya sea en señales analógicas que deben ser convertidas a pulsos digitales antes de su transmisión, y convertidas nuevamente a la forma analógica en el lado receptor. En los sistemas de transmisión digital, se requiere de una interfase física como un par metálico, un cable coaxial o fibra óptica, etc. para interconectar a los dos puntos en el sistema y para que los pulsos puedan propagarse dentro de dicha interfase con facilidad.

Dentro de las ventajas que se pueden mencionar al utilizar la transmisión digital, podemos enumerar las siguientes:

-La ventaja principal es su inmunidad al ruido, ya que los pulsos recibidos se evalúan

durante un intervalo de muestreo y se hace una sola determinación de si el pulso se encuentra arriba o abajo de un umbral específico.

-Se prefieren los pulsos digitales por su mejor procesamiento y multicanalización que las señales analógicas. Los pulsos digitales pueden guardarse fácilmente, mientras que las señales analógicas no pueden.

-Los sistemas digitales utilizan la regeneración de señales, en vez de la amplificación de señales, por lo tanto producen un sistema más resistente al ruido que su contraparte analógica.

-Los sistemas digitales están mejor equipados para corregir errores en la transmisión, que los sistemas analógicos.

Sin embargo, los sistemas digitales presentan algunos inconvenientes y algunas condicionantes que deben cumplir como son:

-La transmisión de las señales analógicas convertidas en señales digitales, requiere un ancho de banda mayor al utilizado para transmitirse en el formato analógico.

-Las señales analógicas deben de convertirse en códigos digitales antes de su transmisión, y convertirse nuevamente en analógicas en el receptor.

-La transmisión digital requiere de una sincronización precisa de tiempo, entre los relojes de transmisión y recepción.

Muestreo de Señales

Hemos mencionado anteriormente, que para transmitir señales analógicas en un formato digital, es necesario convertir la estructura de ésta, pero preservando la información de la señal. La manera de realizado es en base al teorema del muestreo de Nyquist.

El teorema indica que si un valor de amplitud de la señal de entrada es correctamente transmitido en intervalos de tiempo constantes, las señales de entrada pueden ser reproducidas exactamente en el lado receptor; sin embargo existe una condición que se debe cumplir, y es que el muestreo de una señal (f_s) se debe hacer a una velocidad al menos dos veces superior a la máxima frecuencia presente en el canal (f_o) para que las muestras contengan información suficiente que permita la reconstrucción de la señal. Si la frecuencia de muestreo es menor al doble de la componente de frecuencia más alta de la señal, resultará en una distorsión o "aliasing".

Matemáticamente, la mínima razón de muestreo de Nyquist es:

$$F_s \geq 2 f_s$$

En donde:

f_o = frecuencia más alta a muestrear en Hz.

f_s = mínima razón del muestreo de Nyquist en Hz

La velocidad de muestreo más aceptada en la industria es de 8000 muestras por segundo, la cuál permite reproducir con exactitud las señales de un canal de 4 KHz. Los intervalos entre los puntos de muestreo deben estar a $1/2 f_o$ y el muestreo no puede llevarse a cabo a intervalos mayores a éste. 8000 muestras son suficientes para expresar las señales de una línea telefónica de 3 KHz. Una vez muestreada la señal, las muestras se recogen y almacenan a una determinada velocidad y se convierte en datos binarios (codificación) para su posterior modulación.

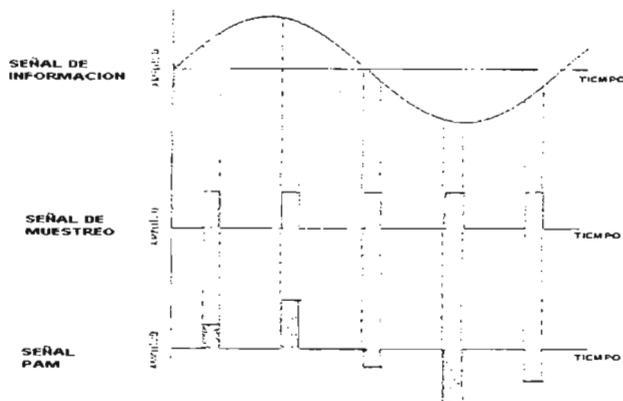


Figura 1.6 Muestreo de una señal

1.5 TIPOS DE MODULACIÓN DE PULSOS

Los sistemas de modulación de pulsos se dividen en dos grandes grupos: Los sistemas de modulación de pulsos analógicos y los sistemas de modulación de pulsos digitales. Dentro de los primeros se encuentran: Modulación por amplitud de pulsos (PAM), Modulación por ancho de pulsos (PWM), Modulación por fase de pulsos (PPM) y Modulación por frecuencia de pulsos PFM. Por lo que se refiere a los sistemas de pulsos digitales podemos mencionar: Modulación por número de pulsos PNM y Modulación por Codificación de pulsos PCM.

PWM: Técnica de modulación en la cual los pulsos son constantes en frecuencia y amplitud, pero varían en su anchura de acuerdo a la amplitud instantánea de la onda analógica.

PPM: La posición de un pulso de ancho constante, dentro de una ranura de tiempo prescrita, varía de acuerdo a la amplitud de la señal analógica.

PFM: Método en el cual los valores instantáneos de voltaje de la onda analógica, se convierten en valores instantáneos de voltaje de la onda analógica, se convierten en valores instantáneos de frecuencia con la ayuda de un convertidor V-F. En este caso los intervalos de los pulsos varían de acuerdo a las amplitudes de la señal original.

PAM: La amplitud de un pulso de posición y ancho constante varía de acuerdo a la amplitud analógica.

PNM: Modulación digital en la cual se convierte la señal analógica a pulsos PWM y con la ayuda de una compuerta AND genera un número de pulsos que van acorde al ancho de la señal PWM.

PCM: La señal de entrada analógica se muestra y posteriormente se convierte a un código binario serial para su transmisión. El número binario varía de acuerdo a la amplitud de la señal analógica.

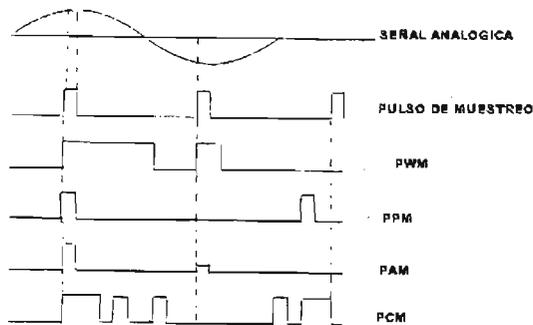


Figura 1.7 Sistemas de Modulación

Modulación de Pulsos Codificados (PCM)

Es el proceso por el cual una onda continua se representa por una serie de palabras digitales codificadas. Cada palabra codificada en la serie, representa cierto voltaje instantáneo de la onda analógica.

En los sistemas de modulación digital, las amplitudes de las señales muestreadas son representadas con una alta precisión, a este proceso se le conoce como cuantización, y a excepción del ruido generado en esta parte, la señal es completamente discreta en

términos de tiempo y amplitud. Esto permite la reproducción de la señal original únicamente tomando como base la presencia o ausencia de los pulsos, no importando que se introduzca ruido en la ruta de transmisión, por lo que se considera a este sistema como altamente resistente al ruido.

El proceso de modulación PCM consta de tres funciones básicas que son: el muestreo,

la cuantización y la codificación.

Cuantización

Una vez efectuado el muestreo de la señal analógica y en el cual hemos obtenido una señal PAM, el siguiente paso es la cuantización, cuyo objetivo es asignar un valor a cada señal PAM, es decir, convierte los cambios de amplitud continuos de los pulsos PAM en valores numéricos discretos. Los cuantificadores asignan valores entre 1 y 128 o entre 1 y 256 a cada pulso PAM. Si el cuantificador asigna a la señal un máximo de 128 valores, cada muestra requerirá 7 bits 2^7 . Si son 256 los valores posibles, cada muestra exigirá 8 bits (2^8).

El proceso de cuantización no representa con estricta exactitud la amplitud de la señal PAM, lo que genera un ruido conocido como ruido de cuantización. Como la distorsión de la señal a lo largo del proceso es proporcional al tamaño del escalón, una posible forma de resolver el problema será incrementar el número de escalones de cuantización posibles para representar la señal. Sin embargo, un número mayor de niveles de cuantización eleva el precio de los componentes y aumenta el número de bits necesarios para representar la señal. En cualquier caso, lo incierto es que el cuantizador de 128 escalones ha sido remplazado en la actualidad por el de 256.

Codificación

Una vez que los pulsos cuyas amplitudes se han convertido a valores discretos a través de la cuantización, son codificados en forma binaria, es decir, se representarán estos valores por medio de una cadena de bits. En el caso de las señales telefónicas y de televisión, éstas se convierten en códigos binarios de 8 bits, los cuáles pueden representar hasta 256 valores de amplitud.

En la tabla 1.2, se muestran los 3 esquemas de codificación más usados, para un caso simple de 3 dígitos.

Nivel de cuantización	Código Gray	Código Binario Natural	Código Binario Doblado
0	000	000	011
1	001	001	010
2	010	011	001
3	011	010	000
4	100	110	100
5	101	111	101
6	110	101	110
7	111	100	111

Tabla 1.2 Codificación mas usados

El código de Gray tiene la característica de que cada código "adyacente" correspondiente a cada nivel de cuantización "vecino", difiere uno de otro en solo un dígito. El código doblado se caracteriza por el hecho de que los dígitos del segundo al último dígito están doblados hacia el medio (000). Si se toma en cuenta que el primer dígito pudiera representar el signo de una señal (positiva o negativa), y los restantes el valor absoluto de ésta, podríamos decir que éste código es propio para representar señales bipolares.

Compansión

La relación de señal a ruido de cuantización S/N_q es utilizada para evaluar la codificación. El ruido de cuantización es inevitable en los sistemas de codificación digitales como el PCM. Como mencionamos anteriormente, para reducirlo es necesario incrementar el número de niveles de cuantización, pero con esto se requeriría un ancho de banda de transmisión mayor. En los primeros sistemas, cuando se utilizaba una cuantización lineal, se producía una notable distorsión de cuantificación cuando las señales eran de pequeña amplitud; por esta razón, se empezaron a utilizar sistemas de cuantización no lineales, en los cuáles, cuando la amplitud de la señal es pequeña, el paso de cuantización se hace menor, y cuando la amplitud de la señal es grande, el paso de cuantización se incrementa. De este modo aumenta el número de niveles de cuantización disponibles, a la vez que disminuye la distorsión global de cuantificación. Una vez decodificada la señal, recupera su amplitud original. Esta mezcla de compresión y expansión se le conoce como compansión.

Multiplexión

En los sistemas de transmisión, un número plural de señales generalmente es combinado y transmitidas a través del mismo medio, tomando como referencia la base de tiempo, y además es convertida a señales digitales de alta velocidad en el lado de transmisión. Por lo que se refiere a la parte de recepción, las señales multiplexadas son separadas para obtener las señales digitales originales. Se sabe que una información codificada consta de ráfagas de 1s y 0s, por lo que cuando hay presencia de 0s no hay información que

transmitir en ciertos intervalos de tiempo. Esta es la característica utilizada para multiplexar varias señales en el dominio del tiempo y con esto lograr obtener altas velocidades de transmisión.

Hay varias formas en las que se puede realizar el proceso de multiplexión, pero los métodos más usados son la multiplexión por división de tiempo (FDM) y la multiplexión por división de frecuencia (TDM).

Multiplexión por división de Tiempo (TDM)

Esta técnica de multiplexión consiste en transmitir muestras de información de diferentes señales simultáneamente, a través de un mismo sistema de comunicación pero en diferentes intervalos de tiempo. El esquema típico de éste multiplexaje se muestra en la figura 1.8 y en el cuál se puede observar que varias señales a ser transmitidas son hechas un muestreo secuencialmente y combinadas para su transmisión sobre un solo canal.

Las señales digitales de los canales 1 al 4 entran al switch rotatorio S1 Y permanecen en memoria por un instante. El switch SI, gira a una velocidad constante que permite leer estas señales para realizar el multiplexaje por división de tiempo. En el lado de recepción, el switch rotatorio S2 rota a la misma velocidad que el switch SI, para que las señales multiplexadas sean 'escritas en la memoria correspondiente a cada canal, posteriormente se hace la separación de éstas, y cada señal se entrega al puerto correspondiente.

Para poder desarrollar correctamente las operaciones antes mencionadas, es necesario cumplir con las condiciones de sincronización y de alineamiento de trama, ya que generalmente las señales a ser multiplexadas son generadas por diferentes equipos, y sus velocidades no son iguales

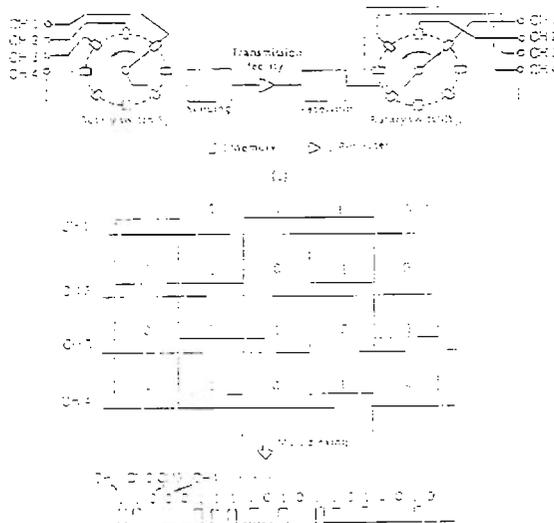


Figura 1.8 Técnica (TDM)

Multiplexión por división de Frecuencia (FDM)

En la multicanalización por división de frecuencia, múltiples fuentes de información que originalmente ocupaban el mismo espectro de frecuencias se convierten, cada una, a bandas de frecuencia diferentes y se transmiten simultáneamente en un solo medio de transmisión. Así, muchos canales de banda relativamente angosta se pueden transmitir en

un solo sistema de transmisión de banda ancha.

El FDM es un esquema de multicanalización analógica; en el cuál la información que entra al multiplexor es analógica y permanece analógica en toda la transmisión. Así entonces, en este sistema no se requiere ningún proceso de sincronización.

EUROPA	AMERICA	EUROPA	SONET
E0 0.064	DS 0 0.064	STM1 155.52	OC1 51.84
E1 2.048	DS1/T1 1.544	STM4 622.08	OC3 155.52
E2 8.448	DS1/T2 6.312	STM16 2448.32	OC12 622.08
E3 34.368	DS3/T3 44.736	STM64 9953.28	OC48 9953.28
E4 139.264			OC 192 9953.28

Tabla 1.3 De jerarquías de Transmisión Digital

Velocidad en Mbps.

DS - Señal digital

STM - Modulo de transporte sincrónico

OC - Portadora óptica

SONET - Red óptica sincrónica

1.6 MODULACION

La modulación es el proceso por el cual las características del medio de transmisión se modifican para representar una señal analógica o digital, de tal forma que puedan viajar grandes distancias. Algunas de las razones existentes que se consideran importantes para modular una señal son:

- ◆ Facilidad de radiación.
- ◆ Asignación de canales.
- ◆ Transmisión múltiple.
- ◆ Reducción de ruido e interferencia.
- ◆ Superar las limitaciones del equipo para una transmisión eficiente.

Existen diferentes tipos de modulación, ya sea analógica o digital, entre las más utilizadas tenemos:

- Modulación analógica

Los dos tipos básicos de modulación analógica son:

-Modulación de onda continua.

-Modulación por pulsos.

En la modulación por onda continua un parámetro de la portadora varía en proporción con la señal mensaje o moduladora, de tal manera que deberá existir una correspondencia uno a uno entre el parámetro y la señal mensaje. Cuando la amplitud se encuentra linealmente relacionada con la señal moduladora, el resultado será una modulación lineal modulación de amplitud. Cuando la fase y la frecuencia están linealmente relacionadas con la señal moduladora en forma colectiva se conoce como modulación angular modulación de frecuencia.

Modulación de amplitud

Es un proceso que consiste en variar la amplitud de una onda portadora de RF en función de la tensión moduladora. La amplitud de la onda portadora varía linealmente con los valores que toma la señal moduladora, que está formada espectralmente por una banda de audiofrecuencias (generalmente) como es el caso de las señales de voz o musicales. El

carácter distintivo de la onda de AM radica en que la envolvente de la portadora modulada tiene la misma forma que la de la onda del mensaje.

Modulación en frecuencia

El proceso que consiste en variar la frecuencia de una onda portadora proporcionalmente a una señal moduladora se le conoce como moduladora de frecuencia. La amplitud de la portadora de una onda de FM es constante. Durante la modulación, la frecuencia de la portadora aumenta cuando la tensión de la moduladora se incrementa en valores positivos y disminuye cuando la tensión moduladora pasa por los valores negativos, como se ilustra en la figura 1.9

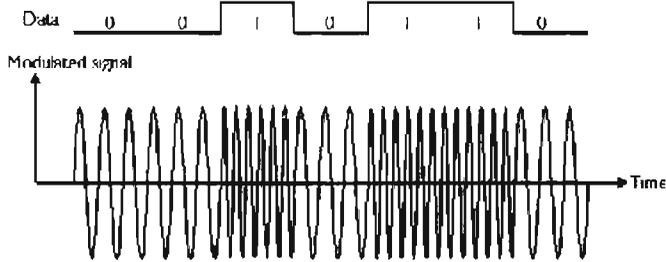


Figura 1.9 Modulación en frecuencia

Las modulaciones de frecuencia y fase son mucho más inmunes al ruido y mantienen la potencia de la señal portadora constante, independientemente de la señal moduladora; sin embargo, necesitan un mayor ancho de banda para su transmisión que la señal equivalente modulada en amplitud.

Modulación digital

Dentro de las técnicas de modulación digital tenemos:

- Manipulación por corrimiento de fase (PSK).
- Manipulación por corrimiento de frecuencia (FSK).
- Manipulación por corrimiento de amplitud (ASK).

Un ejemplo de estos sistemas se ilustra en la figura 1.10,

Donde se muestran las señales generadas para la transmisión de los bits 00101101.

Dentro de la modulación por corrimiento de fase (PSK) se encuentran:

- Modulación por corrimiento de fase binario (BPSK).
- Modulación por corrimiento de fase en cuadratura (QPSK).

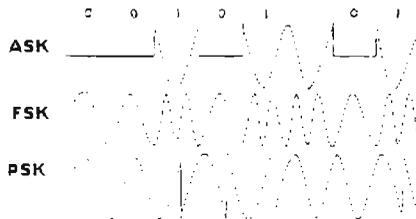


Figura 1.10 Técnicas de Modulación digital

Modulación por corrimiento de fase binario (BPSK)

Si consideramos un sistema de un pulso binario 0 y 1 que se usan para activar una onda senoidal de alta frecuencia con dos posibles fases, una por cada pulso, estaremos utilizando una modulación PSK binaria (BPSK).

En la figura de abajo se muestra la representación vectorial de la modulación BPSK. Donde podemos ver que el vector correspondiente a 0 está a 0° y el vector correspondiente a 1 esta a 180°. En una modulación BPSK se representa un código binario mediante dos fases 0° y 180°.

Modulación por corrimiento de fase en cuadratura (QPSK)

Si consideramos un sistema en el cual se combinan dos pulsos binarios sucesivos y el resultado es el conjunto de cuatro pares binarios 00, 01, 10, y 11 que se usan para activar una onda senoidal de alta frecuencia con cuatro posibles fases, una por cada uno de los pares binarios, estaremos utilizando una modulación PSK cuaternaria (QPSK).

En la figura 1.11 se muestra la representación vectorial de la modulación QPSK. Donde podemos ver que el vector correspondiente a 00 está a 0°, el vector 01 está a 90°, el vector 11 está a 180° y el vector 10 esta 270°. Como consecuencia de esto, nota que un cambio de fase de 90° causa únicamente un bit de error..

Entrada binaria	Fase de Salida
0 Logico	180°
1 Logico	0°



Entrada binaria		Fase de Salida QPSK
Q	I	
0	0	-135°
0	1	-45°
1	0	+135°
1	1	+45°



Figura 1.11 Representación Vectorial QPSK y BPSK

1.7 CORRECCION DE ERRORES

En un sistema de comunicaciones, es inevitable de que ocurran errores por las características no ideales de nuestro sistema, así que se hace necesario desarrollar e implementar procedimientos para el control de errores. Esencialmente, hay 3 métodos de corrección de errores: sustitución de símbolos, retransmisión y seguimiento de corrección de un error.

Sustitución de Símbolos

La sustitución de símbolos se diseñó para usarse bajo un ambiente humano, ya que hay un ser humano en la terminal de recepción, para analizar los datos recibidos y tomar decisiones sobre su integridad. Con la sustitución de símbolos, si un carácter se recibe con error, es sustituido por otro carácter que corresponda con la secuencia transmitida. En el

caso de que el carácter erróneo no pueda distinguirse por el operador, éste solicita la retransmisión por medio de una llamada.

Retransmisión

La retransmisión consiste en reenviar un mensaje cuando se recibe un error, y la terminal de recepción automáticamente solicita la retransmisión de todo el mensaje. La retransmisión frecuentemente se denomina ARQ, y es probablemente el método más confiable de corrección de errores, aunque no el más eficiente, ya que su eficiencia depende mucho de la longitud de los mensajes enviados. Se puede establecer que para bloques de mensajes de entre 256 y 512 caracteres la corrección de errores de este tipo es óptima.

Seguimiento de corrección de errores

El seguimiento de corrección de errores (FEC), es el único esquema de corrección de error que detecta y corrige los errores de transmisión en el lado receptor, sin solicitar la retransmisión. En este tipo de corrección de errores, se agrega a la señal de información como una serie de bits que corresponden a un código, así un FEC de 3/4 nos define que por cada 4 bits enviados 3 son de información y uno es de detección de errores.

1.8 TASA DE BITS ERRONEOS (BER)

La tasa de bits erróneos se definen como la relación entre la cantidad de bits que se reciben incorrectamente contra el total de bits que se transmiten.

1.9 COMPRESION DE SEÑALES

Enviar señales digitales a través de un canal de comunicaciones requiere una gran cantidad de ancho de banda, la solución lógica a este problema es la compresión digital. Compresión implica disminuir el número de parámetros requiendo para representar la señal, manteniendo una buena calidad perceptual. Estos parámetros son codificados para almacenarse o transmitirse.

El sistema que desempeña esta tarea es el CODEC (Codificador/ Decodificador), el cual se encarga de codificar las entradas de audio, video, y/o datos del usuario, y multiplexarlas para posteriormente transmitir una señal digital dirigida al usuario.

En el otro extremo, el CODEC recibe la cadena de datos digitales (provenientes del emisor), y separa (demultiplexa) las señales de audio, video y/o datos para decodificar la información y visualizarla.

CAPITULO II

SISTEMAS IBOC Y EUREKA-147

2.1 PARTICIPACION DE LA UNION INTERNACIONAL TELECOMUNICACIONES (UIT)

En la década de los 80'S los países de gran desarrollo empezaron a preocuparse por el futuro de la radio tradicional de AM y FM ya que, en la forma que se presentaba, de no surgir un cambio importante, este medio, para fines del milenio se convertiría en un medio totalmente competido y sin ninguna posibilidad de recuperar el gusto y preferencia del público en general.

En esta forma empezaron a surgir ideas para nuevos desarrollos que utilizaran como base, la radio digital para sustituir la radio analógica y ofrecer al público un verdadero cambio. En los dos escenarios económicos más fuertes e importantes como lo son la Comunidad Económica Europea y los EUA empezaron a surgir manifestaciones que hacían prever una próxima crisis en los medios de radio. En la mayoría de los países europeos, la radio AM prácticamente ha desaparecido, debido, entre otras causas, de la gran concentración de estaciones y el casi nulo control que se tiene sobre la operación de las estaciones; En cambio las estaciones de FM, aún cuando ya muestran signos inequívocos de deterioro, siguen siendo el sistema de radiodifusión que se utiliza en Europa. Como es sabido la radiodifusión europea es mayoritariamente gubernamental, salvo en algunos países que de algunos años a la fecha han empezado a operar en plan comercial y como ejemplo, solamente dentro de territorio italiano existe operando un poco más de 3000 estaciones caso similar que se ha observado en otros países como España y algunos otros, ya que por tratarse de países con una extensión territorial pequeña, la invasión de las señales de radio ha provocado que la calidad se deteriore y que el público prefiera otras formas de entretenimiento a base de señales digitales.

En EUA, en cambio, existen alrededor de 11,000 estaciones de radio operando de las cuales aproximadamente el 50% son de AM y el otro 50% son de FM. Ya desde hace algunos años las estaciones de AM vienen acusando un notable descenso en las ventas de publicidad, hecho que ha provocado que aproximadamente el 30% de ellas tengan pérdidas en sus operaciones, que si bien no las ha llevado a una "quiebra", esto es debido a que, en muchos casos empresas o personas operan en "combo" las estaciones de AM y FM lo que permite a que las estaciones más desprotegidas económicamente combinen sus ingresos y en esta forma pueda sobrellevarse a un resultado económico final equilibrado. Resumiendo se puede decir que por motivos muy especiales, en Europa se tuvo necesidad de buscar una buena salida tecnológica para rescatar a la radio de su posición desventajosa frente a otros medios competidores y, en cambio, en los EUA también tomaron la decisión de buscar una buena solución para la radio en general.

Dentro de los trabajos llevados a cabo en 1988 por la Unión Internacional de Telecomunicaciones en Ginebra, Suiza, durante el desarrollo de la Conferencia Mundial de Satélites, se presentó la solicitud de varios países para que la UIT sentará las bases técnicas para la creación de un nuevo sistema de radiodifusión sonora digital a través de satélite, con servicios complementarios terrestres, emitiendo la **Resolución No. 520**

(Orb. 88) en la que se convoca a los países miembros de la UIT para que se estudie y proponga tanto el rango de frecuencias más adecuado para la ubicación del servicio dentro del rango de 500 a 3000 Mhz, así como las principales características que debe reunir este tipo de servicio.

Los requisitos principales que el servicio debe de tener son los siguientes;

- 1.-Alcanzar una respuesta de sonido equivalente al disco compacto
- 2.-Que el sistema pueda ser recibido tanto en receptores fijos como en movimiento.
- 3.-Que se elimine la interferencia provocada por las señales multitrayectoria (multipath).
- 4.-Que se mejore la eficiencia en el uso de' espectro radioeléctrico que se asigne.
- 5.-Que el sistema sea eficiente y económico en su operación. .

Por otra parte la UIT fijó para que en una conferencia a nivel mundial los países miembros concurren a la población de Torremolinos, Málaga, España para lograr la atribución de frecuencias a nivel mundial para la prestación del servicio de Radiodifusión Sonora Digital por Satélite con los Servicios terrestres complementarios.

A partir del mes de febrero de 1992 y tal como fue planeado se realizó la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones (CAMR-92) con el mandato de lograr un acuerdo sobre la asignación de una banda de frecuencias para la ubicación del servicio de que se trata, entre otras cosas más que le fueron encomendadas a la Conferencia.

Después de que por más de 30 días los 132 países asistentes debatieron y estudiaron todos los argumentos presentados; acordaron, finalmente que a nivel mundial se asignaran 40 Mhz de 1452 a 1492 Mhz dentro de la llamada banda "L" para alojar los servicios de Radiodifusión Sonora Digital, ordenándose que esta banda, a partir del año 2007 fuera protegida por cualquier servicio contra cualquier tipo de interferencia.

Con excepción de los EUA, los países de América aceptaron la designación de la banda "L", en cambio a EUA le concedieron un segmento de la banda "S" de 50 Mhz que va de los 2310a 2360 Mhz. Al no lograrse consenso en América obligará a México y a Canadá a celebrar acuerdos bilaterales para el uso de las bandas "L" y "S" principalmente en sus fronteras comunes. México al igual que la mayoría de los países dieron su voto a favor del uso de la banda "L".

2.1.2 POSICION DE LOS EUA ANTES Y DESPUÉS DE LA CONFERENCIA

La industria de la radio norteamericana desde la propia reunión celebrada en Ginebra en 1988, a través de la NAB organización que representa los intereses de aproximadamente el 80% de las empresas de radio, al conocer los detalles del desarrollo tecnológico EUREKA 147, inventado por un consorcio de las empresas más importantes de Alemania, Francia, Reino Unido y Holanda, llegaron a recibir un ofrecimiento importante de acciones para ser uno de los dos socios mayoritarios de la empresa y NAB en diferentes publicaciones aseguró que EUREKA 147 constituía el mejor proyecto para transformar la radiodifusión AM y FM, llegando inclusive a encargar a bufetes tan prestigiados como "Julios and Cohen" el estudio sobre espectro más conveniente para ubicar la operación de EUREKA 147, así como realizar los ejercicios de planificación de frecuencias de manera de permitir el alojamiento de las casi 11.000 estaciones de radio que existen en

funcionamiento, con alternativas para dotar a todas las estaciones del mismo cubrimiento o bien dar una clasificación a todas, de manera de que se asigne un cubrimiento en función al tipo de estación de que se trate y de la ciudad en la que opere.

Por las relaciones amigables que existen entre la NAB/CIRT/CAB, la propia NAB propuso a sus similares de México y Canadá, que las tres asociaciones de radiodifusión del norte de América pugnarán para que los respectivos gobiernos apoyaran en la CAMR-92 el empleo de la banda "L" por ser la mejor opción para el desarrollo de la Radiodifusión Sonora Digital. Esta firme posición de la NAB la mantuvo. Hasta mediados del año de 1991 en que sorpresivamente cambió su posición argumentando que tanto la FCC como el Departamento de Estado manifestaron que resultaba imposible disponer de la porción de banda "L". Convenida ya que no podían ser desplazados diversos servicios tanto para la prueba de aviones como de dispositivos para la seguridad nacional, por lo que en la CAMR-92 solicitaron y obtuvieron la asignación de una porción de la banda "S" para los servicios de radio vía satélite.

Fue tan sorpresiva la actitud de la industria norteamericana a través de la NAB que tanto México como Canadá que hablan encontrado en los argumentos presentados la justificación del uso de la banda "L" no tuvieron mas remedio que apoyarla en Torremolinos, además por que se trataba de la mejor opción desde el punto de vista técnico.

El cambio de actitud de la NAB es muy posible que se deba a otras razones de mas peso económico como el hecho que existen muchos intereses entre las propias empresas y existe la idea muy firme de no permitir que las estaciones de AM no resuciten del panteón en que ya se encuentran. Lo cierto es que la verdad es posible que no la sepamos jamás.

A partir de ese momento la representación de EUA, la NAB en los diferentes foros internacionales, como ha sido las Convenciones anuales de esa institución, celebradas en el mes de abril los años de 1992 Y 1993 en las Vegas, Nevada; La convención de Radio celebrada en septiembre de 1992 en Nueva Orleans, Luisiana y por último el Seminario sobre DAB Celebrado en Montreux en junio de 1992, la NAB se mostró abiertamente a favor de apoyar el desarrollo de los sistemas IBOC los que un conjunto de empresas de desarrollo tecnológico viene desarrollando desde el año de 1991.

Durante el mes de marzo de 1993, altos ejecutivos de la NAB estuvieron presentes en la Ciudad de México para ofrecer una conferencia sobre las nuevas tecnologías de la radiodifusión y en una de sus intervenciones señalaron textualmente lo único que puedo decir con seguridad acerca de la radiodifusión sonora digital en América es que el futuro aún es incierto. Las cosas han cambiado con rapidez en los últimos dos años y, sin duda alguna, continuarán cambiando. Esperamos poder ver y escuchar las primeras demostraciones totalmente. móviles de los sistemas de radiodifusión sonora digital dentro de banda y en el mismo canal, que representan innovaciones revolucionarias que bien pueden representar el futuro de la radiodifusión sonora en el Siglo XXI.

En respuesta a las muchas propuestas de radiodifusión digital, en octubre de 1991 la Asociación de Industrias de la Electrónica (EIA) en Estados Unidos, formó un subcomité sobre radio digital. El objetivo de la Asociación es evaluar y comparar todos los sistemas posibles de radiodifusión sonora digital, dentro de la banda y en canal, también dentro de la banda pero en canal adyacente y, por último sistemas fuera de banda que requieren nuevos espectros y sistemas DAB via Satélite.

2.1.3 POSICION DE EUROPA SOBRE EL DAB:

La Comunidad Económica Europea ya desde hace varios años ha venido desarrollando una nueva tecnología para la transmisión de la radiodifusión sonora digital, estos trabajos culminaron en el año de 1988, llevando a cabo una demostración pública a los delegados que asistieron a la Conferencia Administrativa Mundial de Satélites (Orb. 88) en Ginebra, sobre el sistema Eureka 147, demostrando en ese lugar que con unos cuantos watts se podía transmitir una señal de gran calidad que cumplía con los requisitos impuestos por la UIT.

A partir de ese momento, la industria radiofónica norteamericana mostró un gran interés para compartir Eureka 147 con sus inventores, realizando demostraciones públicas del sistema en las Convenciones de los años de 1989 y de 1990, en las Vegas, así como en las Convenciones de Radio celebradas en Boston y San Francisco en los años de 1989 y 1990, Eureka 147 operó utilizando espectro de frecuencias en alrededor de 800 Mhz correspondiente al canal 69 de UHF.

Durante la CAMR-92 diversos países de la comunidad europea propusieron para el desarrollo de este sistema digital la banda "S" en la porción de 2500 Mhz, pero para el servicio a través de la red de Satélites europeos, entre otros a través de ASTRA 1D, 1C y 1E propiedad de Luxemburgo; los Satélites TFD 1 Y 2 pertenecientes a Francia y el TV-SAT de Alemania, todos ellos que son Satélites de radiodifusión directa y que transmitirán radiodifusión sonora digital a todos los países europeos a partir del año de 1994, sin embargo casi al final de la Conferencia, esos mismos países apoyaron la adopción de la banda "L" solo Alemania y España propusieron que para el servicio terrenal se estudiara la actual banda de FM para ser digitalizada y en la próxima conferencia se presentaran los estudios necesarios para justificar la digitalización de esta banda de FM.

Pasada de CAMR-92, principalmente Alemania y Francia han proporcionado acesoria a Canadá para las pruebas del sistema Eureka 147 tanto en UHF como en banda "L".

Existen evidencias de que Francia y Alemania transmitirán radiodifusión sonora digital, usando el sistema Eureka 147 en forma terrestre usando el canal 12 de la televisión europea (alrededor de 220 Mhz) y, a partir del año 2007 la radiodifusión terrestre de varios países europeos se desarrollará en la banda "L".

En los laboratorios del CCETT (Centre Commun d' Etudes de Télédifusion et Télécommunications) y en el Centro de Estudios de Télédifusion de France, en la Ciudad de Rennes, Francia en la actualidad se encuentra en fabricación la tercera generación de moduladores, demoduladores y receptores para el sistema Eureka 147 y se espera que varios países de América, encabezados por Canadá, de África y Oceanía utilicen este sistema en lo futuro.

2.2 ¿QUÉ ES EUREKA-147?

El proyecto Eureka 147 fue iniciado en el año de 1987 y se calcula se han realizado inversiones en investigación y desarrollo del orden de los 300 años / hombre y de alrededor de 50 millones de dólares. El sistema Eureka es un sistema de transmisión / recepción de radiodifusión sonora digital ampliamente probado desde el año de 1988 hasta el presente 1993, tanto en forma pública como privada en ciudades como Ginebra (1998),

en Montreux (1992), las vegas (1990 y 1991), Boston (1990), San Francisco (1991), Vancouver, Ottawa y Montreal en (1989 y 1990), Toronto (1989,1990,1991, 1992 y 1993) y en la Ciudad de México en (1993), operando en diferentes frecuencias entre 800 y 1500Mhz y además ha sido escuchado por muchos miles de personas durante 5 años.

El sistema Eureka 147 ha sido desarrollado por un consorcio de empresas europeas de cuatro países, como lo son: Alemania, Francia, Reino Unido y Holanda, siendo las empresas las siguientes:

Alemania

DAIMLER-BENZ
BLAU PUNKT
ROBERT BOSCH
DLR
FLG IIS
FRAUNHOFER INSTITUT FÜR
GRUNDIG O.M.V.
IRT
INTERMETALL

Francia

CCETT
THOMSON CONSUMER
ELECTRONICS
TCSF-LGT
THOMSON LGT.
TELEDIFFUSION OF FRANCE TDF

Reino Unido

BBC

Holanda

PHILIPS CONSUMER
ELECTRONICS, B:V:

El sistema Eureka-147 cumple con todos los requisitos fijados por la UIT para ser equivalente al disco compacto teniendo una respuesta en frecuencia de 20 a 20000 Hz con una variación de 0.1db; tiene un rango dinámico de 90db; una relación de señal a ruido de 90db una separación estéreo de 90db; y la banda base es de 250Khz.

Este sistema utiliza una multiplexión COFDM, también emplea un sistema de reducción de bits MUSICAM desarrollado por la IRT de Alemania. Este sistema MUSICAM utiliza las ventajas de las propiedades psicoacústicas del oído humano eliminando la información irrelevante. En el caso de Eureka 147 la frecuencia de bits se reduce hasta los 256Kb/seg. para una señal estéreo con calidad de disco compacto, es decir una relación de reducción de 6:1. Actualmente se están efectuando pruebas sobre otras versiones de MUSICAM que reduciría el volumen de datos hasta 128Kb y aún un poco menos.

La información resultante del proceso anterior se modifica empleando un método de codificación convencional llamada COFDM, que son las siglas en inglés que significan Multiplexión Codificada de Dominio de Frecuencia ortogonal. Este último se trata de un método de modulación que utiliza la Multiplexión de división de frecuencia para dividir la información codificada de seis 6 mas programas de audio separados, en un gran número de canales de, volumen bajo de datos con un espacio reducido entre ellos. La Multiplexión de muchos programas de audio en una sola transmisión es algo fundamental para el sistema Eureka 147 ya que le permite dispersar los efectos de multitrayectoria de tal forma que ningún programa se ve seriamente afectado.

Otro de los atributos del sistema Eureka 147 es el hecho que se puer' en utilizar "rellenadores de sombra" esto es pequeños repetidores activos que con una mínima potencia pueden "rellenar" cualquier área de sombra y de esta forma completar a gusto de cada estación el área de servicio que se deseé tener lo anterior es posible gracias al sistema descrito anteriormente mediante el cual es posible eliminar la interferencia de la multitrayectoria.

Por lo que se refiere a la economía que se logra al operar el sistema Eureka 147 basta decir que con una potencia aproximadamente 15 veces menor se cubren áreas similares que las alcanzadas por las estaciones de FM; por otra parte los transmisores que se emplearán serán de banda ancha, lo que permitirá operar en forma simultánea hasta 6 estaciones con el mismo transmisor y antena, lográndose con ello una misma área de servicio para las mismas 6 estaciones, por lo tanto los costos de operación e instalación se reducirán hasta en 6 veces.

Otra ventaja adicional que se logra; es operar dentro del canal de DAB un canal adicional para dato con una capacidad de hasta 10 Kb/seg con lo cual se podrá contar con el equivalente a una subportadora en FM, Lo que daría a la propia estación un servicio adicional de valor agregado.

Por lo tanto el sistema es una técnica de radiodifusión sonora y de datos robusta y muy eficaz desde el punto de vista de utilización del espectro, con técnicas digitales avanzadas para la supresión de redundancia estrictamente controlada a fin de corregir los errores de la señal transmitida. Seguidamente se dispersa la información transmitida en los dominios de tiempo y frecuencia, de forma que se obtiene en recepción gran calidad, aun en condiciones de propagación multitrayecto. Se logra una eficaz utilización del espectro entrelazando señales de los múltiples programas, una característica especial es la reutilización de frecuencia, que permite la ampliación de las redes de radiodifusión prácticamente ilimitada, utilizando transmisores adicionales que funcionan todos en la misma frecuencia radiada RED de FRECUENCIA UNICA ó ISOFRECUENCIA (SFN).

2.2.1 CODIFICACION DE LA SEÑAL DE ENTRADA

La Organización Internacional de Normalización ISO preparo una norma sobre las señales de audio y video y su almacenamiento digital; El subgrupo de audio: Moving Pictures Expert Group (MPEG) fue el responsable de elaborar una norma para la codificación genérica de señales de audio MIC con distintas velocidades de muestreo, que dio lugar a la norma MPEG_1 con tres capas de complejidad diferente par aplicaciones distintas. La

Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-R) con sede en Ginebra, recomienda utilizar la capa de MPEG_1 para contribución distribución y emisión en radiodifusión. La idea del MPEG_2 era la extensión del audio MPEG_1 a velocidad de muestreo mas baja para mejorar la calidad de sonido a velocidades binarias inferiores, en particular para aplicaciones vocales con una aplicaron muy importante en el EU147DAB. La capacidad de programas del canal del servicio principal puede aumentar aplicando la opción de frecuencia de muestreo mas baja a canales de noticias de alta calidad que necesita menos bits para la misma calidad en comparación con la frecuencia de muestreo completa.

Se pueden citar múltiples aplicaciones de los estándares de codificación de audio MPEG, tales como:

- DAB (Digital Audio Broadcasting).
- Transmisión RDSI.
- Audio de acompañamiento para la TV digital.
- Internet streaming.
- Almacenamiento e intercambio de ficheros de audio en ordenadores.

Los formatos más utilizados actualmente son MPEG-1/2 Audio Capas II y III. Además, muchos sistemas en desarrollo prevén usar MPEG-2 AAC como sistema de codificación de audio

MPEG-1 El proceso de desarrollo de MPEG-1 duró 4 años, desde 1988 hasta 1992, para finalmente convertirse en la norma ISO/IEC 11172. La parte del estándar relativa a la codificación de audio, ISO/IEC 11172-3 [10], describe un sistema adaptable a distintas aplicaciones. Así, se describen tres *capas* distintas, cada una de ellas con un grado de complejidad distinto, siendo la más compleja la capa III (el conocido sistema de archivos mp3), la cual está optimizada para proporcionar la máxima calidad a tasas binarias en tomo a 128 kbit/s para una señal estéreo.

MPEG-2 BC En 1994 se finalizó el estándar MPEG-2 BC (*Backwards Compatible*) [11], que no hace más que modificar ligeramente algunas características de MPEG-1. Por una parte proporciona la posibilidad de utilizar frecuencias de muestreo más bajas (16, 22.05 y 24 Khz.) con lo cual se pueden codificar señales a tasas binarias mucho más bajas aun a costa de reducir su ancho de banda. Por otra parte, se introduce la capacidad, completamente compatible hacia atrás, de transmitir señales multicanal, incluyendo el formato 5.1.

MPEG-2 AAC Poco después de 1994 se pudo observar, en los tests realizados, que para incrementar de manera sustancial la eficiencia de la codificación era necesario plantear un esquema que no estuviese lastrado por la necesidad de ser compatible con los estándares anteriores. Por esto se creó un nuevo esquema, denominado MPEG-2 NBC (*Non-Backwards Compatible*), también conocido como AAC (*Advanced Audio Coding*) [12], el cual es capaz de proporcionar una misma calidad subjetiva que los esquemas anteriores con un consumo de bits notablemente inferior. No obstante se produce un claro aumento de la complejidad computacional, incluso en el perfil más básico descrito en la norma.

MPEG-4 La primera versión de MPEG-4 se finalizó en 1998 [13], y una segunda versión se editó en 1999 [14]. MPEG-4 ya no proporciona un esquema de codificación en si, sino que centra sus miras en conseguir proporcionar nuevas funcionalidades. El siguiente apartado estará dedicado integramente a este estándar.

MPEG-7 Al margen de la codificación de audio, pero relacionado con ella, está el estándar MPEG-7, pendiente de aprobarse en Julio de 2001, que pretende fijar las pautas para la búsqueda, filtrado, manejo y procesado de información multimedia.

MPEG-4. CODIFICACIÓN DE AUDIO NATURAL

El estándar ISO/IEC MPEG-4, en su parte 3 (Audio), pretende proporcionar un conjunto de tecnologías que permitan satisfacer las necesidades de autores, proveedores de servicio y usuarios finales al mismo tiempo. Se facilita un completo conjunto de aplicaciones que van desde la codificación de voz hasta codificación de audio multicanal de alta calidad, tanto para sonidos naturales como sintetizados.

En particular, se permite la representación eficiente de objetos de audio consistentes en:

- **Señales de voz:** Se puede codificar con tasas binarias desde 2 kbit/s hasta 24 kbit/s. También se pueden conseguir tasas binarias más bajas en media utilizando herramientas de tasa binaria variable. Se permiten esquemas de bajo retardo para comunicaciones y, si se utilizan las herramientas HVXC, la velocidad y el *pitch* pueden ser modificados en tiempo real por el usuario.
- **Voz sintética:** Existen codificadores TTS (*Text-To-Speech*) con velocidades binarias entre 200 bit/s hasta 1.2 kbit/s, que admiten como entrada texto, o texto con información prosódica para generar voz sintética inteligible. Hay que notar que en este caso el estándar se limita a definir un formato de intercambio, sin entrar en las propias técnicas de conversión texto-voz.
- **Señales de audio natural:** Permite la codificación de señales de audio natural desde velocidades binarias muy bajas hasta alta calidad utilizando técnicas de transformada. Empieza con 6 kbit/s con 4 Khz. de ancho de banda, pero permite calidad de difusión para mono o multicanal. Para la codificación de audio de alta calidad se ha adoptado el esquema MPEG-2 AAC con ligeras modificaciones y alguna que otra herramienta nueva.
- **Audio sintético:** El audio sintético viene proporcionado por el denominado *Decodificador de Audio Estructurado*.

En general, la calidad final de la señal dependerá de la complejidad tanto del codificador como del decodificador.

Esquema básico de un codificador

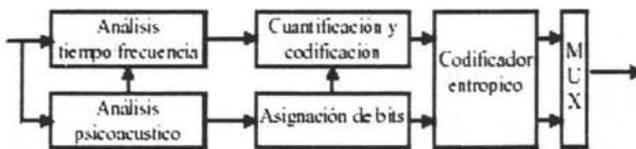


figura 2.1 Esquema general de un codificador perceptual de audio.

En la Figura 2.1 se muestra en general un codificador perceptual de audio. Se pueden distinguir los siguientes bloques principales:

- **Banco de filtros:** Se utiliza para descomponer la señal de entrada en componentes espectrales submuestreadas. Junto con el banco de filtros correspondiente en el decodificador forma un conjunto de análisis / síntesis.

- **Cuantificación y codificación:** Este es el verdadero *núcleo* del sistema, donde los componentes espectrales se cuantifican y codifican intentando mantener el ruido siempre por debajo del umbral de enmascaramiento, tal y como se comentó anteriormente.
- **Modelo perceptual:** Proporciona toda la información necesaria para la correcta codificación de la señal manteniendo un determinado nivel de calidad requerido.
- **Entramado:** El último paso será siempre generar una trama binaria en la que se incluye toda la información y cabeceras necesarias para que el codificador sea capaz de interpretarla correctamente

MPEG y MUSICAM

Hacia finales de 1988, el grupo de MPEG (Moving Pictures Experts Group) comenzó a trabajar en la codificación de imágenes en movimiento y audio para transmisión y almacenamiento sobre los 1.5Mbit/s. En 1989, 14 proyectos de codificación de audio de diferentes compañías se presentaron. Dada su similitud, se agruparon en 4 propuestas: ASPEC, ATAC, MUSICAM y SB/ADCPM.

Luego de algunas pruebas, bajo la dirección de la Swedish Broadcast Corporation, la BBC y la Universidad de Hannover, ASPEC y MUSICAM fueron ratificados como los mejores sistemas de acuerdo a su complejidad, retardo de tiempo y calidad de audio.

Codificación de Audio MUSICAM

MUSICAM (Masking Pattern Adapted Universal Subband Integrated Coding and Multiplexing) permite la reducción de la tasa de bits de una señal de audio digitalizada hasta 48[KHz.]. Es un proceso de codificación de audio altamente eficiente que puede tomar la señal de CD stereo a $2 * 44.1 * 16 = 1411.2$ kbit/s y reducirla a una tasa de 192 kbit/s.

Lo anterior es posible basándose en técnicas de codificación psico-acústicas especificadas por MPEG-2 Layer II.

Enmascaramiento (Audio Masking). Una buena definición de la percepción psico-acústica de sonidos se ha dado en 1960 como "aquel proceso por el cual, el umbral de audición de un sonido, aumenta en presencia de otro sonido" (sonido enmascarante).

La base de todos los nuevos sistemas, es la utilización de las características de la señal de audio, conocidas como redundancia e irrelevancia el primer caso sería el equivalente, por ejemplo, a representar un tono puro por sus valores de amplitud, frecuencia y fase en vez de por todas las muestras PCM que lo constituyen. Esta es la alternativa que utilizan los codificadores sin pérdidas, en los que la señal reconstruida es exactamente igual a la señal de entrada, sin ningún tipo de distorsión]. Sin embargo presentan el problema de requerir una elevada carga computacional para conseguir resultados aceptables. Pero se puede tomar un segundo camino (no excluyente del anterior), y es aprovechar el hecho de que la señal de audio que pretendemos codificar va a ser escuchada por personas, y que conocemos o por lo menos podemos modelar hasta cierto punto la forma en que la mayoría de las personas oyen. Se trata pues, de modelar el sistema auditivo humano (HAS, *Human Auditory System*), y a partir de este modelo caracterizar qué partes de la señal a codificar resultan más relevantes que otras y deben o no deben ser codificadas para mantener una calidad subjetiva dada. La señal reconstruida en este caso *no* será igual a la señal original pero, si el proceso se realiza correctamente, perceptualmente no se notará ninguna diferencia entre ambas. Estos codificadores pueden reducir todavía más la cantidad de información necesaria para representar la señal, hasta menos de 1 bit por muestra frente a los 10 bits necesarios en general por un codificador sin pérdidas.

Estos sistemas tratan de desarrollar patrones que puedan interpretar las características de la percepción del oído humano. Como respuesta a más de 30 años de investigación, ha surgido el concepto de enmascaramiento ó sound masking en el cual se conciben las llamadas curvas de umbral. Recientes avances en psico-acústica a sólo actualizado y refinado las viejas teorías. El más importante avance ha sido logrado con MPEG-1.

Esencialmente el sistema codifica solamente las señales que el oído humano percibirá, ignorando toda información que de acuerdo al modelo psico-acústico- no se oirá. El principio de enmascaramiento de las frecuencias se ilustra en la figura 2.2.

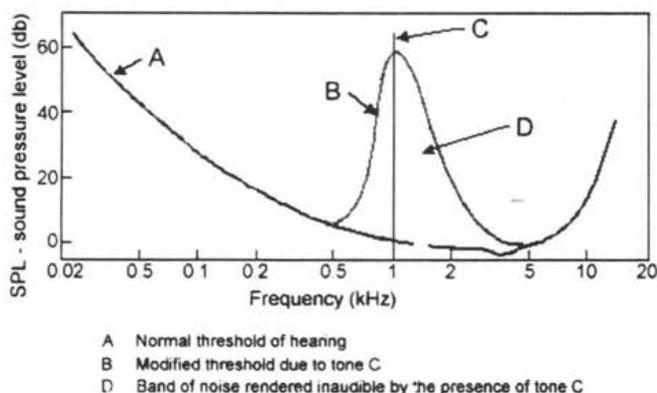


Figura 2.2 Principio de Enmascaramiento

El componente de señal de 1Khz C deforma y eleva el umbral de percepción de otras frecuencias adyacentes. Si un segundo componente de audio está presente al mismo tiempo y cerca de 1Khz para que pueda ser reconocido, deberá estar sobre el nuevo umbral de energía impuesto por el componente de 1 Khz. de otra forma, es enmascarado por la primera señal.

Actualmente es un tema aún en estudio ya que hay diferentes aspectos y teorías al respecto. Algo interesante de destacar es la naturaleza no causal del enmascaramiento de sonidos, ya que un ruido fuerte(disparo), puede enmascarar a un sonido débil previo. Algunos psicólogos afirman que el oído humano puede percibir sonidos fuertes más rápido que los débiles. En la realidad las señales son más complejas y el umbral de enmascaramiento está cambiando constantemente.

Como funciona un codificador MPEG

Debido a la naturaleza de este trabajo, no se profundizará dada la complejidad de cada etapa, sin embargo se incluye lo principal para comprender intuitivamente el proceso.

1. - La señal de audio 24[Khz.] en banda base) digitalizada es dividida en 32 sub-bandas. Lo anterior se realiza con DSP's que realizan FFT de 1024 bits, entregando 512 valores del espectro, es decir, muestras cada 46 Hz del espectro de audio original.

2. - Conocidas las componentes de frecuencia. Se divide el espectro en las 32 sub-bandas, cada una con 16 bits (512/32). Esta división del espectro permite la distribución óptima de los bits de acuerdo a los requerimientos psico-acústicos. Para aquellas sub-

bandas que resultan completamente enmascaradas por otras, no hay necesidad de enviarlas, ya que no se escucharán.

3. - Una vez que se cuenta con la información necesaria, a cada muestra se le asigna un factor de escala de 6 bits (asegurando un rango dinámico de 120 dB), junto con información para reconstruir la distribución óptima y un header para cierta información. De esta forma, se arma la trama.

4. - El sistema contempla técnicas de protección de la información, ya que la destrucción por pequeña que sea, resulta desastrosa. Además de la eliminación de redundancias para los factores de escala.

MPEG 2 Layer II

Debido a la naturaleza de la información que se trata y a la codificación, existen diversas versiones de compresión MPEG; principalmente respecto de la tasa de transmisión, cantidad de canales, frecuencia de muestreo y al tipo de información que se trata. El sistema usado en DAB posee las siguientes características:

- Mayor Ancho de banda, sobre 40Mbit/s.
- Compatible con el sistema 5.1 de salas de cine (central, izquierdo y derecho, más surround izquierdo y derecho y 1 canal de bajos)
- Más rango para los tamaños de tramas (incluyendo HDTV)
- Retardo de tiempo: 100ms (Layer II)

2.2.2 MODULACION COFDM

Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex es un sistema de difusión multiplexada (similar al que usa la telefonía TMA) por el cual la información a transmitir es repartida en un gran número de portadoras unas con otras e individualmente moduladas en cuadratura (ortogonal, desfase 90°) utilizando trayectos múltiplex entre emisor y receptor.

Estas portadoras se entrelazan en tiempo y frecuencia y están interrelacionadas por una codificación que produce una redundancia de información; de esta forma cuando las diferentes señales llegan al receptor, este puede construir las informaciones perdidas por correlación, con las correctamente recibidas.

Principios generales

La presencia de trayectos múltiples en propagación de radio es un fenómeno que se debe a las reflexiones (ecos) de las ondas sobre el suelo o los obstáculos presentes en el trayecto que une el emisor al receptor. En transmisión analógica o digital, este fenómeno es la causa de desvanecimientos de la señal recibida. En analógica, la consecuencia es la fuerte degradación de la relación señal-ruido de video pudiendo llegar hasta una imagen inexplorable. En digital estos desvanecimientos degradan fuertemente la tasa de error binario; este es el fenómeno de interferencia inter símbolo.

La técnica COFDM permite explotar estos trayectos múltiples que, por la naturaleza de la modulación, son constructivos. Es decir que el receptor COFDM «se alimenta» del

conjunto de señales que le llegan: cada eco aporta su contribución al mejoramiento de la relación señal-ruido y de la tasa de error.

La técnica COFDM descansa en una distribución tiempo-frecuencia de la información a transmitir en un gran número de señales en paralelo, individualmente modulados a bajo débito. Esta equivale a preferir una transmisión «paralela» a una transmisión «en serie», y vuelve no selectivo en frecuencia al canal con respecto a cada una de las portadas. En otros términos, el tiempo símbolo en cada una de las portadas se vuelve netamente mas largo que el tiempo de despliegue de los ecos, minimizando así la interferencia inter símbolo. Además la inserción de un intervalo de guardia temporal permite absorber los ecos y sacar partido de manera constructiva. La siguiente figura muestra la representación tiempo frecuencia de la señal COFDM.

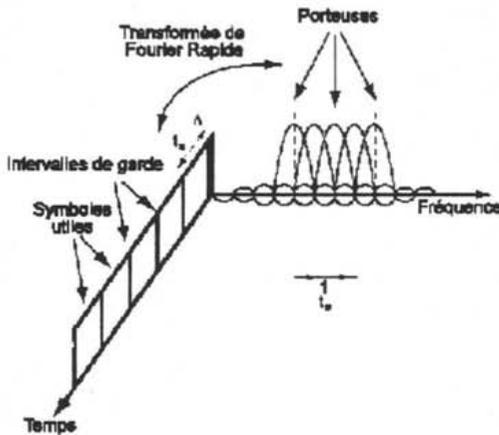


Figura 2.3 Representación COFDM

La distribución de la información en N señales transmitidas en paralelo no constituye una condición suficiente para una transmisión sin errores: interesándonos a uno cualquier de ellos, podemos considerar que, según su posición en el campo frecuencial, será recibido con una atenuación mas o menos importante, consecuencia de interferencias (intra símbolo intra portada) destructivas o constructivas.

Pero si sólo se aplicara este principio, algunas informaciones serían bien transmitidas mientras que otras serían absorbidas por los desvanecimientos del canal. En el caso extremo en el que un eco de amplitud idéntica a la de la señal principal crea un desvanecimiento local absoluto, es interesante observar que la tasa de error no disminuye, y esto, sea cual fuera la potencia emitida! Si suponemos por ejemplo que el 1% de las portadas está apagado a la entrada del receptor, la tasa de error llega a su máximo en $5 \cdot 10^{-3}$. La técnica COFDM explota de manera sistemática los trayectos múltiples entre el emisor y el receptor utilizando el hecho que señales suficientemente separadas en frecuencia y en tiempo no pueden ser afectadas de forma idéntica. Las informaciones transmitidas en diferentes instantes sobre portadas alejadas del espacio de las frecuencias son entonces unidas entre ellas por una codificación que produce

una redundancia que asegura al receptor la posibilidad de reconstituir las informaciones perdidas durante la transmisión, gracias a la correlación que las une a las informaciones correctamente recibidas. Esto puede ser realizado por una codificación convolutiva asociada a un entrelazamiento en tiempo y en frecuencia.

La diversidad aportada por este entrelazamiento juega un rol vital en el sistema. El decodificador solo puede funcionar correctamente si las sucesivas muestras presentadas a su entrada son afectadas por distorsiones independientes. En la práctica, estas distorsiones están fuertemente correlacionadas en tiempo y en frecuencia. El entrelazamiento tiene como efecto romper esta correlación, y permite al decodificador integrar los fenómenos de desvanecimientos locales en toda la banda y en toda la profundidad del entrelazamiento temporal: los rendimientos del sistema ya solo dependen entonces de la relación entre señal y ruido medio.

Cuando el canal es casi invariable en tiempo, la diversidad en frecuencia es suficiente para asegurar un buen funcionamiento del sistema: desde ese punto de vista, la existencia de trayectos múltiples es una forma de diversidad y debe ser considerada como una ventaja. En efecto, la relación entre señal y ruido medio aumenta ni bien la señal recibida es reforzada por ecos que no pueden combinarse de manera destructiva sobre el conjunto de la banda de la señal: este es el caso cuando los ecos están separados por un tiempo de propagación mínimo superior a la inversa del ancho de la banda de la señal.

En conclusión, la asociación de la distribución tiempo - frecuencia de la información y de la codificación permite aprovechar plenamente la propagación por trayectos múltiples, particularmente explotando los ecos constructivos - estadísticamente mayoritarios - para aumentar la potencia útil de la señal recibida y a la vez ayudar a la recuperación de la información perdida en los ecos destructivos.

COFDM en DAB

DAB utiliza un esquema de modulación digital de multiportadora altamente eficiente desde el punto de vista del espectro. COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) utiliza, en vez de una sola portadora con alta tasa de símbolos, muchas portadoras (sobre 1536) separadas a 1 KHz. Cada portadora se puede asumir como una transmisión que utiliza QPSK.

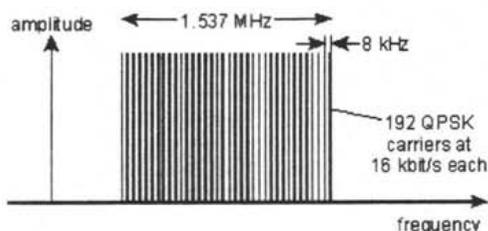


Figura 2.4 Esquema de Modulación COFDM

Características del Canal

El canal de radiodifusión utilizado para recepción móvil en áreas urbanizadas como ciudades, es particularmente un entorno hostil para las transmisiones. Interferencia industrial, bastante multipropagación causada por obstáculos naturales necesitan de un sistema de modulación sofisticado si se desea un nivel de comunicación excelente.

El modelamiento del canal con multipropagación (multipath), 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.

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.

La asociación de MUSICAM y COFDM esta la base de la cadena DAB por trayectos múltiples, por lo que se trata ahora de fabricar ecos artificiales a partir de emisoras complementarias repartidas en un territorio y sincronizadas al mismo tiempo difundiendo la misma señal y por supuesto la misma frecuencia ó ISOFRECUENCIA = SFN.

2.2.3 DECODIFICACION DAB-RECEPTOR

Teniendo en cuenta el modelamiento anterior, es posible representar los efectos de la transmisión, combinando la respuesta de 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.

La información a transmitir de parte en un número grande de portadoras con una tasa de símbolos baja, formando un canal de 1.54[Mhz] aproximadamente. Como consecuencia, 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.

Repetiendo 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.

El proceso de reconstrucción para obtener de nuevo el audio se caracteriza relleno del formato de datos de las muestras de subbanda en relación con el factor de escala y la asignación de bits par cada subbanda y trama.

El proceso de decodificación necesita una potencia de computo mucho menor que el proceso de codificación y en vista de esta baja potencia de computo. Desde 1993 están disponibles micro placas de decodificador de señales estereofónicas de diversos fabricantes. Se dispone también de decodificadores de señales estereofónicas de capa II.

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.

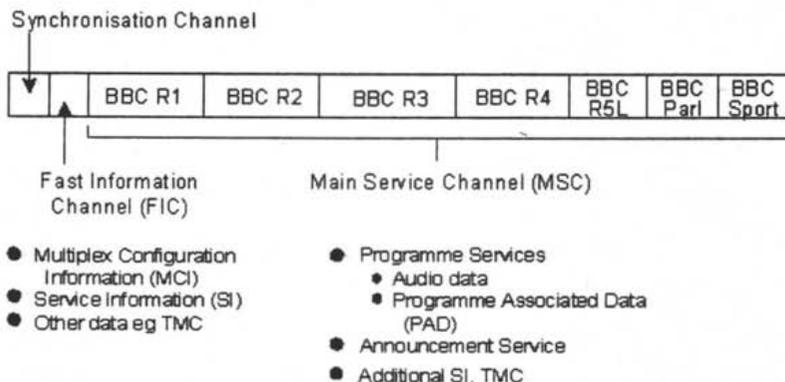


Figura 2.5 Trama DAB Multiplexada

La trama ilustrada en la Figura 2.5 representa a la trama DAB multiplexada, distinguiéndose tres elementos:

- Canal de sincronización, necesario para le sintonización y el timing 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.

2.2.4 TOPOLOGIA DE RED SFN

La polarización vertical para DAB proporciona mejores niveles de señal recibida a baja altura, por consiguiente es la mas adecuada, aparte de otras consideraciones empíricas. Para la antena de recepción puede emplearse una antena telescópica como siempre monopolo.

La supresión del Fading ó desvanecimiento de recepción, requiere una anchura de banda de 1,5MHz aprox. En la que pueden acomodarse hasta 6 programas de calidad CD.

Empíricamente se ha visto que es posible la utilización de varios transmisores terrenales en una misma frecuencia, solamente es necesario colocar una guarda de tiempo lo suficientemente grande como para compensar los diferentes tiempos de llegada (sin solapamiento) de los transmisores sincronizados, lo que debe ser coherente con el periodo global del simbolo asegurar la recepción móvil.

Topología redes unifrecuencia SFN

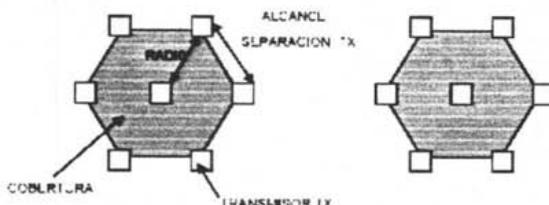


Figura 2.6 Topología de Red DAB

Atendiendo a la demanda de servicios nacionales y autonómicos el DAB debe responder a dos coberturas. Una red de frecuencia única SFN que en realidad es un bloque de frecuencias en COFDM. Y otra red local de baja potencia con algunas estaciones retransmisoras.

La sincronización temporal supone la compensación de las diferencias entre los retardos de transmisión nominales entre emisor y receptor, debe mantenerse en todo momento.

Las pérdidas de cobertura por ensombrecimiento son paliadas con transmisores de baja frecuencia, además sirven para conformar el contorno de la zona, por ejemplo si hubiere necesidad como fronteras, zonas bilingües, etc. Como alternativa pudiera variarse la potencia de los transmisores SFN.

La distribución de red con desconexiones nacionales es el siguiente: los radiodifusores envían un programa a la cabecera nacional donde se multiplexan todos los programas y se mandan al satélite, éste se recibe en las emisoras territoriales, que podrán introducir su propio programa si fuese necesario, que lo vuelven a remitir al operador para distribuirlo a los centros emisores. La red nacional sin desconexiones es mucho más simple: se envía el programa a la cabecera nacional y ésta al satélite para distribuirlo directamente a los centros emisores.

La calidad que se obtiene esta en función del ancho de banda. El sistema DAB permite utilizar dos sistemas de compresión: el MPEG1 (MP1) y el MPEG2 (MP2). El primero es el normal para velocidades altas, mientras que el MP2 permite utilizar una frecuencia de muestreo mitad, en lugar de utilizar los 48 Khz. de frecuencia de muestreo del MP1 se utiliza 24 Khz., para obtener a bajas velocidades una mejor calidad. Por ejemplo, con 20 kbit/s en MP2 se obtiene una calidad similar a la de 70 kbit/s con el MP1.

Si difundimos 6 programas con calidad 192 Kbit/s, y grado de protección 3, queda un pequeño canal de 32 Kbit/s para introducir datos. Sin embargo, si utilizamos 160 kbit/s y un nivel de protección 2, en lugar de 6 programas solamente podríamos difundir 5 programas. Es decir, dependiendo del grado de protección y de la velocidad de transmisión podemos difundir más o menos programas. Si de una velocidad de 192 Kbit/s bajamos a una inferior,

por ejemplo, 160 Kbit/s con el mismo grado de protección 3, podemos difundir 7 programas en lugar de 6 programas, dejando para datos 224 kbit/s, como se indica en las figuras. Por tanto, es un sistema flexible pero con una capacidad limitada, con lo cual la capacidad que utilizamos para programas no la podremos utilizar para datos.

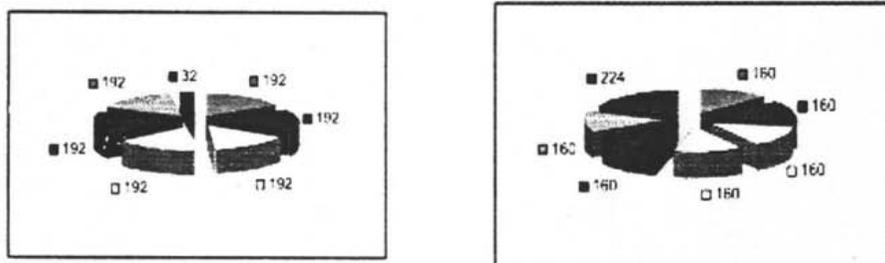


Figura 2.7 Distribución de calidad de los programas

2.2.5 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DAB

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

Sus principales características son las siguientes:

- **Eficiencia en la utilización del espectro y la potencia.** Se utiliza un único bloque para una Red nacional, territorial o local terrenal, con transmisores de baja potencia.
- **Mejoras en la recepción.** Mediante el sistema DAB se superan los efectos que la propagación multirayecto, debida a las reflexiones en edificios, montañas, etc. , produce en los receptores estacionarios, portátiles y móviles y se protege la información frente a interferencias y perturbaciones. Estas mejoras se logran mediante la transmisión COFDM que utiliza un sistema de codificación para distribuir la información entre un elevado número de frecuencias.
- **Rango de frecuencias de transmisión:** El sistema DAB está diseñado para poder funcionar en el rango de frecuencias de 30 Mhz. A 3.000 Mhz.
- **Distribución:** Se puede realizar por satélite y/o transmisiones terrenales o de cable utilizando diferentes modos que el receptor detectará automáticamente.
- **Calidad de sonido:** Es equivalente a la del Disco Compacto (CD). En el sistema DAB se aprovecha el efecto de enmascaramiento que se produce debido a las características psicoacústicas del oído humano, ya que 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. El sistema DAB utiliza un sistema de compresión de sonido llamado MUSICAM para eliminar la información no audible, consiguiendo así reducir la cantidad de información a transmitir.

- **Multiplexado:** De manera análoga a como se entra en un multicine donde se exhiben varias películas y seleccionamos una de ellas, es posible "entrar" en un múltiplex DAB y seleccionar entre varios programas de audio o servicios de datos. El sistema DAB permite multiplexar varios programas y servicios de datos para formar un bloque y ser emitidos juntos, obteniéndose el mismo área de servicio para todos ellos.

- **Capacidad:** Cada bloque (múltiplex) tiene una capacidad útil de aproximadamente 1,5 Mbit/s, lo que por ejemplo permite transportar 6 programas estéreo de 192 kbit/s 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 kbit/s incluyendo la protección adecuada.

- **Servicios de Datos:** Además de la señal de audio digitalizada, en el múltiplex se transmiten otras informaciones:

- *El canal de información:* Transporta la configuración del múltiplex, información de los servicios, fecha y hora, servicios de datos generales como: radiobúsqueda, sistema de aviso de emergencia, información de tráfico, sistema de posicionamiento global, etc.

- *Los datos asociados al programa:* se dedican a la información directamente relacionada con los programas de audio: títulos musicales, autor, texto de las canciones en varios idiomas, etc.

- *Servicios adicionales:* Son servicios que van dirigidos a un grupo reducido de usuarios, como por ejemplo: cancelación de tarjetas de crédito robadas, envío de imágenes y textos a tableros de anuncios electrónicos, etc.

Todos estos datos se reciben a través de una pantalla incorporada al receptor

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

2.2.6 INFORMACION DEL SISTEMA IBOC

Los EUA, al no poder alinearse con el resto de los países del continente Americano a partir del año de 1991 tomó la decisión de desarrollar otro tipo de tecnología diferente a la lograda por Eureka 147 y basándose al hecho de no utilizar ninguna cantidad de espectro radioeléctrico fuera del asignado ya a los diferentes servicios de radiodifusión existente en AM y FM.

Los objetivos que se fijaron para el desarrollo de la radiodifusión sonora digital son los siguientes:

A.- Debe ser eficiente desde el punto de vista de la ocupación del espectro.

B.- Debe ofrecer una mayor fidelidad de sonido.

- C.- Debe de estar al alcance de todas las radiodifusoras existentes de AM y FM.
- D.- No debe afectar la integridad económica de las radiodifusoras de AM y FM existentes.
- E.- El receptor debe estar al alcance del consumidor promedio.
- F.- Debe ser fácil de implementar administrativamente.

Durante ese tiempo 3 organizaciones dentro de EUA que realizaron proyectos de ingeniería para la transmisión de audio digital, estas empresas son *las* siguientes:

-Amati Communications, quien junto con ATT' trabajaron desarrollando. un sistema "in band" pero en canal adyacente.

- Kintei Technologies trabajo en una tecnología que utiliza una técnica "Multiplexión de potencia" para colocar una señal de DAB justo abajo de *la* señal de FM en el mismo canal.

-USA Digital Radio Partners L:P: quien conjuntamente con las empresas Gannett Broadcasting , CBS División de radio, Westinhouse Electric Corporations, Group W Radio y Xetron Corporations son los que tienen a su cargo el desarrollo de los sistemas "In band" "on channel" llamados los sistemas IBOC.

Los sistemas IBOC, desde el punto de vista de tecnología están aprovechando la técnica desarrollada por el ejercito de EUA llamada "extracción de señal" que permite esconder señales de radio digitales de muy baja potencia dentro de las señales analógicas más fuertes.

También la empresa Electric Decisiones, Inc. creó una nueva tecnología llamada "transportación de carga acústica" que permite mediante el empleo de microchips efectuar la decodificación de las señales encubiertas, las cuales funcionan a 50 ó 60 dB abajo de las señales principales.

Actualmente se ha logrado tener una adecuada respuesta de audio equivalente a un disco compacto en un canal de FM.

En el sistema IBOC de AM el ancho de banda aprovechable es de solo 35KHz ya que según el enmascaramiento para este tipo de estaciones ,cuando se alcanza los 40 Khz. de ancho de banda, el nivel de la señal, comparativamente con la señal de la fundamental es de -40 dB. Como es lógico suponer la respuesta de audio necesaria de 20 Khz. No se logra en una banda base de 40KHz, por lo cual, de entrada puede decirse que las estaciones de AM al utilizar los sistemas IBOC no podrán alcanzar la calidad de sonido equivalente al disco compacto.

En las pruebas y demostraciones que se han hecho en EUA sobre los sistemas IBOC, primero en la Convención de Radio en Nueva Orleans en septiembre de 1992 y, en las Vegas en abril de 1993 la prueba de FM se hizo sobre un canal no empleado en Nueva Orleans y la AM se realizó en el canal de 1660KHz, o sea en una frecuencia de la parte ampliada de la banda de AM o sea que no puede saberse si la técnica de "extracción de señales" opera o no.

La idea era crear un sistema de radiodifusión terrestre usando una nueva señal digital que podría ser transmitida in-band en forma adyacente con la emisora de la señal analógica existente. Todo esto es muy ideal ya que no se necesitaría asignar extra espectro, se

tendría que replicar la cobertura de los sistemas ya existentes y permitiría a las emisoras permanecer independiente una de otras, no sería necesario la combinación de programas de audio como eureka-147.

La investigación que vería si la tecnología IBOC pudiera ofrecer la solución digital para las emisoras de USA se realizó en el año 1994. 3 grupos estaban a cargo: NAB(national Association of Broadcasters, EIA (Electronic Industries Association) y la NRSC(National Radio Systems Committee). Una gran variedad de tecnologías fueron probada en esa época, pero esta primera generación de sistemas demostró un bajo rendimiento, especialmente en la serie de pruebas de impacto sobre la porción analógica de la señal. Por lo tanto se tuvo que hacer algunos cambios como la incorporación de diversidad de tiempo y hacer las bandas laterales digitales de IBOC más independientes para el caso en que una de sus bandas presentara interferencia, fuera posible extraer buen audio digital de la otra banda no contaminada.

Mientras se realizaba estos cambios tecnológicos, la estructura de negocios de IBOC también lo estaba haciendo. Después que terminadas las pruebas de EIA/NRSC, USADR y Lucent Technologies entraron en una sociedad en el desarrollo de IBOC. Esta sociedad termino en mayo de 1998 con la formación de Lucent Digital Radio (LDR).

En los dos años siguientes se produjo una competencia entre estas dos compañías por producir la mejor tecnología de radio IBOC. Las cosas cambiaron de nuevo en julio del año 2000 con la fusión de estas dos compañías dando origen a la compañía actual de desarrollo de tecnología IBOC, iBiquity Digital Corp. en Columbia

El principal análisis del sistema de trabajo sobre un sistema de radio digital (IBOC) para una radiodifusora de AM fue hecha por el un subcomité del sistema nacional de radio (NRSC). Las metas y objetivos fueron:

- Estudiar sistemas de IBOC DAB y determinar si proveen a las radiodifusoras y usuarios con:
 - 1) Una señal digital con calidad y durabilidad muy significativa que las que son disponibles actualmente en el sistema análogo existente en los USA.
 - 2) Un área de servicio digital que sea al menos equivalente al área del servicio de analogía de la estación host mientras provee simultáneamente protección dentro del canal compartido y situaciones de canal adyacentes.
 - 3) Una fina transición de servicio análogo a servicios digitales.
- Proveer a los radioescuchas y fabricantes la información que necesitan para hacer una decisión bien informada sobre el futuro del radiodifusor de audio digital en los USA, y si en apropiado fomentar su implementación.
- Para realizar sus objetivos, el subcomité resolvió trabajar a través de la realización de los siguientes métodos:
 - 1) Desarrollar una técnica record en donde sea aplicable, sacar conclusiones que sean provechosas para el Comité Nacional de Sistemas de Radio (CNSR en inglés NRSC) en la evaluación de sistemas IBOC.
 - 2) Asesoramiento completo del impacto de la señal IBOC DAB sobre la existencia de sistemas análogos de radiodifusión con las cuales estas deberían compartir.

2.2.7 FUNCIONAMIENTO

El sistema iBiquity AM IBOC soporta la transmisión de audio digital y auxilia información digital dentro de una división existente de canal AM, poniendo 6 grupos de señales portadoras digitalmente moduladas dentro de un adyacente a una señal análoga de AM (figura 2.8)

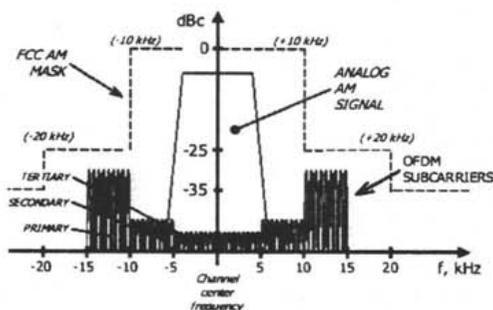


Figura 2.8 AM IBOC

Debido a que las portadoras digitalmente moduladas están insertadas dentro del mismo espectro ocupado por la señal analógica AM, el sistema de AM IBOC no es compatible con señales analógicas de AM estéreo. Le corresponde a los grupos de bandas laterales en cualquier lado de las portadoras (superior primario e inferior primario) que sean independientes y que solo uno de ellas sea necesitado por un receptor que sea disponible para generar audio digital. Sin embargo, para poder generar audio digital estéreo, las secundarias y terciarias bandas laterales serán necesitadas.

La modulación OFDM es utilizada en el sistema AM IBOC. El audio digital modulado dentro de estas portadoras de OFDM es perceptualmente codificada, dejando para el audio digital de alta calidad usar un bit de grado bajo relativo.

En el sitio de la transmisión, el codificador de audio crea 2 stream de audio – stream central y un stream amplio – y el sistema designa los streams a diferentes partes del espectro. El stream central acarrea audio mono auricular y el stream amplio, en la opción de la radiodifusora, acarrea fidelidad amplia de sonido estéreo.

El código de sonido puede ser establecido para proveer sonido estéreo en la porción realizada del stream de audio. En el sitio de recepción, entonces, el radioescucha oirá ya sea una amplia o sonido digital central ó sonido analógico dependiendo de las condiciones de recepción. La banda ancha de sonido para el audio digital es aproximadamente 15 KHz.

La señal de IBOC AM incorpora 4-1/2 seg. de retraso entre las señales de audio digital y analógico para mejorar el desempeño en la presencia de ciertos tipos de interfase.

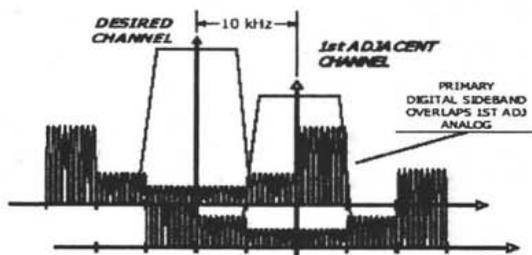


Figura 2.9 Ilustración de interferencia desde la señal analógica adyacente primaria por bandas laterales digitales IBOC AM.

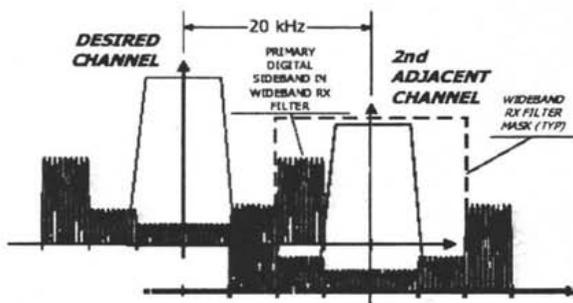


Figura 2.10 Ilustración de interferencia potencial entre señales IBOC AM de canal adyacente-segundo.

Las 2 circunstancias principales mediante las cuales un receptor IBOC revierte las salidas de sonido analógico son durante la adquisición. Cuando la estación de radio es primero puesta en sintonía, un receptor IBOC adquiere la señal analógica en milisegundos pero toma unos pocos segundos para iniciar la decodificación de audio sobre las bandas laterales digitales ó cuando las condiciones de recepción se deterioran hasta el punto donde aproximadamente el 10% de los bloques de información mandados en las bandas laterales digitales son corrompidas durante la transmisión. Muchas de las pruebas dentro de los procedimientos de NRSC fueron diseñados para determinar las condiciones que podrían causar mezcla a analógico que ocurra una segunda circunstancia, desde este punto el sistema IBOC esencialmente revierte al AM analógico.

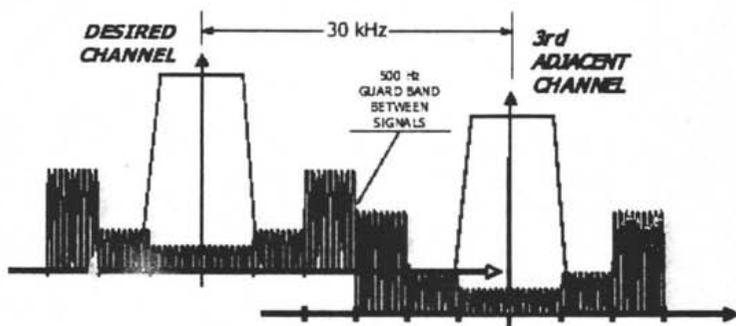


Figura 2.11 Ilustración de la interferencia potencial entre señales IBOC AM Adyacente – tercera.

La tecnología de IBOC provee un significado de introducir la radiodifusión audio digital sin la necesidad de nuevas organizaciones de espectros para la señal digital. El modo híbrido de FM USADR permite a la estación de difundir simultáneamente el mismo programa análogo y digital. Además el nivel de la señal digital en el modo híbrido debería estar limitado para acomodar la recepción análoga, el sistema híbrido continuará permitiendo una actualización sobre el existente servicio análogo por medio de proveer una fidelidad amplia de audio, mejorando la fuerza de la señal, y servicios auxiliares amplios.

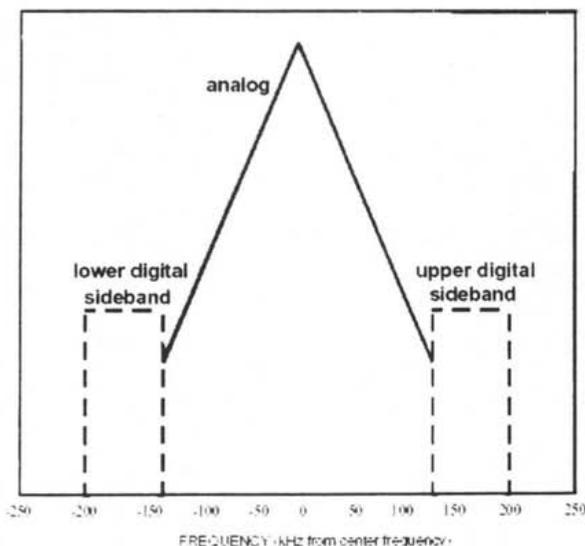


Figura 2.12 El espectro híbrido de IBOC FM

Bandas laterales digitales de niveles bajos se adicionaron a cada lado de la señal análoga. La banda ancha esta limitada a $\pm 200\text{kHz}$ de la frecuencia central. USADR ha conducido simulaciones, análisis, pruebas de compatibilidad de laboratorio, y pruebas de campo las cuales verifican que restringir las subportadoras digitales a las regiones de 70 Khz. entre 129 y 199kHz desde la frecuencia central sobre cualquier lado de el espectro análogo minimiza la interferencia a la recepción análoga y canales adyacentes sin exceder la existencia de la máscara de espectro FCC. Esta banda ancha es muy amplia para soportar un servicio robusto de IBOC híbrido con un audio de calidad-CD que se refleja en la existencia de estaciones de radio análogas.

La estructura dual de bandas laterales permite el uso de una diversidad de frecuencia para ofrecer el combate a los efectos de disminución de frecuencias o caminos múltiples e interferencia. La línea de base del sistema híbrido transmite simultáneamente 96 Kbps de información audio digital con protección de error, más servicios auxiliares, sobre cada banda lateral DAB. Cada banda lateral tiene toda la información y por lo tanto puede permanecer por si misma. Como quiera que sea, cuando ninguna de las bandas laterales esta corrompida, las técnicas avanzadas codificadoras de FCC permiten la combinación de ambas bandas laterales para proveer de nuevo adicionalmente potencia de señal y codificación.

La figura 2.13 muestra un escenario en el cual una señal híbrida IBOC deseada y una interferencia superior híbrida IBOC primer-adyacente puede coexistir. La figura muestra que no hay ninguna interferencia entre las bandas laterales híbridas. De todas formas, la porción análoga de la señal híbrida primera-adyacente podría interferir con la banda digital superior de la señal híbrida deseada. En el esfuerzo por reducir la interferencia análoga a las bandas laterales digitales, USADR ha desarrollado una técnica conocida como cancelación de la primera-adyacente. Además, el uso de la diversidad de frecuencia y técnicas de codificación avanzada FEC ofreciendo mejoras de rendimiento de la señal digital deseada bajo estas condiciones.

El sistema híbrido IBOC DAB USADR FM esta constituido de 4 componente básicos: el modem, el cual modula y demodula la señal; el codificador, el cual codifica y decodifica a la señal que emite el audio; se adelanta a la corrección del error codificando y mezclando. Todas estas área funcionales centrales han sido diseñada e integradas para producir un sistema híbrido IBOC DAB de FM con calidad superior.

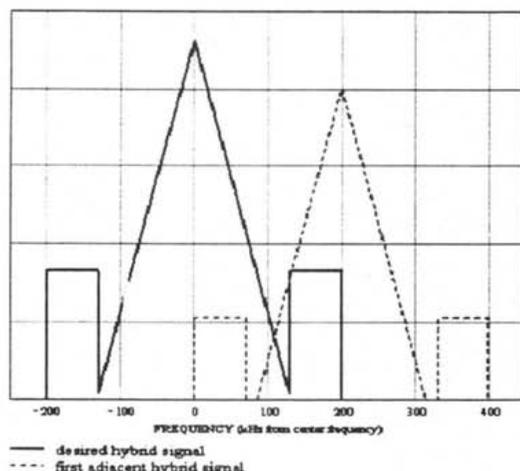


Figura 2.13 Dos Señales IBOC se observa que pueden coexistir

Técnica de modulación.

USADR evaluó técnicas de modulación para su sistema de FM IBOC DAB antes de elegir a Quadrature Phase Shift Keying (QPSK). QPSK permite un rendimiento robusto mientras provee suficiente canal para el virtual sonido digital CD-Quality. Permite el uso avanzado de técnicas de codificación FEC las cuales explotan el conocimiento del ambiente de interferencia. QPSK es también simple y robusto..

Desde que QPSK tiene eficiente banda ancha de 2 bits por segundo por hertz, soporta un grado bit de información que es suficiente para la transmisión de sonido virtual CD-Quality en la banda ancha disponible.

USADR comparó multi-portadoras contra una-portadora que propone transmitir una señal digital, y escogió la propuesta de multi-portadoras llamado Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). OFDM es un proyecto en el cual muchas sub-portadoras QPSK-moduladas pueden ser simultáneamente colocados de una división – frecuencia dentro de una manera Orthogonal tal cual que cada portadora no interfiera con las subportadoras adyacentes. OFDM ofrece un alto nivel de fuerza un canal de múltiples caminos.

Cuando se combina con codificación FEC, la fuerza de la señal digital es ampliada. La estructura OFDM naturalmente soporta técnicas de codificación FEC que maximiza el rendimiento dentro del no-uniforme ambiente de interferencia. Lo más importante que los bits codificados pueden modular cargadores OFDM que están localizados en las regiones más protegidas del canal.

Fuente de Codificación

El sonido digital de CD tiene un grado de información de 1.4112 Mbps (44,100 16-bit pruebas por segundo, para los canales derecho e izquierdo). La banda ancha del canal FM no tiene la capacidad de soportar suficientemente un grado alto de información para proveer la descompresión de sonido CD-Quality. Por lo tanto una técnica de compresión audio codec debería ser empleada. El audio codec dispositivo de fuente-codificada que

remueve información redundante de una señal digital de audio con el fin de reducir el grado bit, y por lo tanto la banda ancha requerida para transmitir la señal.

USADR usa el codec AAC en su sistema IBOC AM. El codec AAC comprime el bit CD para que fluya a 96 Kbps, dejando audio que el radioescucha percibirá para ser virtualmente la misma calidad que el de un CD. El uso del codec AAC reúne los requerimientos de la modulación y las técnicas de codificación FEC. Además de su habilidad de encontrar los requerimientos de compresión de audio del sistema USADR, AAC ofrece la ventaja de ser un sistema abierto basado sobre la familia MPEG de estándares ISO.

AAC es lo más reciente en estándar MPEG sobre codificación de audio perceptual y es parte el amplio mundo de la familia MPEG de estándares de video y audio. Mucho del trabajo sobre AAC fue hecho por Fraunhofer, AT&T, Dolby Labs y Sony, todos los líderes expertos en la tecnología de compresión de audio. Está construida sobre los estándares existentes de MPEG Layer-3 por medio de ofrecer una eficiente codificación optimizada.

AAC es un proyecto de codificación flexible, que sostiene grados de información por arriba de los 8kpps. Puede codificar información de entrada en mono y estéreo, así como información de canal múltiple (hasta 48 canales). Es usada por un amplio rango de aplicaciones, desde audio de Internet hasta sonido surround de canales múltiples. La alta eficiencia de codificación hace a AAC atractivo, especialmente para aplicaciones con una demanda muy alta de calidad ó una banda ancha con transmisión muy limitada. Aun así la estructura básica de AAC es similar a las previas técnicas de codificación de audio, incluyendo la comúnmente usada MPEG Layer 3, AAC contiene numerosas innovaciones de las cuales son particularmente provechosas para la implementación de DAB. Las diferencias cruciales entre MPEG AAC y su predecesor MPEG Layer-3 son las siguientes:

Durante el proceso de estandarización, MPEG desarrollo numerosas pruebas de sonido para valorar la calidad de audio de AAC. Es difícil de especificar el rendimiento de audio codificado en términos de técnicas de medición de audio tradicionales tales como respuesta de frecuencia, distorsión y rango dinámico; por lo que, audio codecs son psicoacústicamente comparados con una calidad CD. En estos exámenes, los probadores se les ha dado la oportunidad de comparar segmentos comprimidos y no comprimidos de la misma selección y hacer fallos hacia la calidad de el segmento comprimido. En las pruebas designadas para replicar el peor de los casos de las señales, la AAC codec a 96 Kbps ha probado ser casi indistinguible de la selección original. Para la mayoría de los casos extremos, la diferencia en la señal comprimida es audible, pero no considerada una respuesta mayor para los escuchas. Estas pruebas usan lo que es esencialmente un clip de audio corto tocado un y otra vez para entrenar al que escucha. En otras palabras, mientras se escucha un sonido AAC-encoded a 96 Kbps con audífonos de alta calidad, el promedio de los que escuchan no estarán disponibles de distinguir entre este sonido y el CD original al menos que una selección corta de música sea tocada una y otra vez desde ambos el CD y AAC. Debido a que los típicos radioescuchas nunca escucharán a IBOC DAB bajo tales condiciones de laboratorio con amplificadores y audífonos de calidad de estudio, 96 Kbps AAC será percibido por radioescuchas típicos tan virtualmente lo mismo como un CD.

FEC.

Una corrección de error adelantado mejora la fiabilidad de la información transmitida. Técnicas de codificación avanzadas de FEC explotan la naturaleza no-uniforme de la interferencia. Técnicas especiales de intervalo de propagación errores fuertes a través del tiempo y la frecuencia para ayudar al decodificador FEC en su proceso de toma de decisión. La combinación de técnicas de codificación e intervalo FEC avanzadas, juntas con rendimiento superior de modem, permiten al sistema IBOC enviar con fuerza, en un ambiente móvil, el audio virtual CD-Quality con cobertura comparable al servicio análogo existente.

2.2.8 CARACTERISTICAS IBOC

El sistema de FM IBOC DAB, como un medio digital, esencialmente provee un flujo de bits. Desde que un bit dado en el flujo puede ser dedicado al audio, información o paridad, intercambia entre la fuerza, a través de la información, y la calidad de audio debería ser desarrollada para producir un sistema el cual sea óptimo para una aplicación dada. El diseño del sistema híbrido USADR IBOC DAB FM provee la flexibilidad inherente requerida otorga a los radiodifusoras la habilidad de tolerar sus sistemas para encontrar sus requerimientos únicos.

El sistema hace, de cualquier forma, un auxiliar soporte de servicios de información que actualizarán las comunicaciones autorizaciones subsidiarias existentes análogas de FM ofreciendo con mucha habilidad alta, fiable y fuerza.

El sistema tiene una capacidad que podría ser dedicada a servicios auxiliares, ya que una salida de hasta 20 Kbps puede ser logrados. La porción de esta salida que es dedicada a los servicios de información es selecta por la radiodifusora, y debería ser cambiada por la calidad de audio y requerir fuerza en la señal digital.

El sistema híbrido USADR FM IBOC DAB incorpora 2 principales tipos de servicios auxiliares, los cuales son explicados abajo:

- **Servicios Auxiliares:** Un rango de información de hasta 120 Kbps puede ser transmitido reduciendo la calidad de audio y de acuerdo a la FEC. El grado de audio puede variar a través del tiempo, basado en el programa ó la calidad de audio deseada. Por ejemplo, un discurso podría ser codificado a un rango bajo que en la música; formatos de noticias y conversaciones requieren menos salida que pueda ser dedicada a la información. Si la salida de información no fuese requerida, la capacidad extra podría ser organizada a la FEC, para incrementar la fuerza del sonido digital.
- **Información oportuna:** Hasta 32 Kbps pueden ser intermitentemente multiplicados con el audio sobre bases prioritarias, cuando el sobrante de banda ancha este disponible, como fue determinado por un análisis entropico desde el codificador de audio. Por ejemplo, el grado de información oportuna podría ser incrementado durante un menor pasaje complejo de música, o durante un nuevo reporte seguido de un programa de música. El programa de información asociada, el cual es usado para desplegar sonido e información de estación sobre el receptor, toma una porción de la capacidad, desde que no necesita ser transmitido en tiempo real.

Compatibilidad Analógica.

Por las condiciones probadas, el sistema de IBOC AM se encontró que tiene un defecto pequeño sobre la señal de recepción análoga. En los receptores de automóvil de banda ancha se encontró ser el menos sensitivo a la señal digital. Bandas anchas amplias de Hi-Fi y radios se les encontró más sensitivos a la señal digital. Cada frecuencias de los receptores y la simetría de la fase de respuesta juega una parte en sus compatibilidades de recepción.

Las pruebas de resultado sugirieron que, además de la introducción de IBOC AM podría ser evidente que algunos radioescuchas usando ciertos receptores análogos, a estos radioescuchas no se les esperaba que encontrarán su calidad de audio degradada suficientemente para impactar su sonido.

Otros descubrimientos incluyen los siguientes:

- Co-Channel compatibility. La introducción de IBOC AM no esperaba que tuviera algún impacto sobre el nivel de interferencia de canal compartido debido al diseño del sistema IBOC AM. La compatibilidad del canal-compartido no fue probada por la NRSC.
- Compatibilidad de la adyacente principal. Las conclusiones en general acerca de la compatibilidad de la adyacente principal del sistema IBOC AM fue que la interferencia causada por la introducción de la señal IBOC fue predominantemente determinada por la radio. Las reglas de asignación de la FCC permiten 6db de radio con un entorno protegido en horas del día de una estación de AM. En el punto de los 10 dB todos los radios de AM probados, cuando reciben programas de discurso, fueron indisponibles de proveer calidad de audio que podrían satisfacer al menos a la mitad de los radioescuchas ya sea que una estación de interferencia adyacente-primera estuviera emitiendo la señal de IBOC AM. A punto de los 15dB, los radios de automóvil proveyeron audio escuchable y no fueron significativamente afectados por la introducción de IBOC, de todas formas los receptores de Hi-Fi proveyeron audio escuchable que llegaba a ser sonido que se podía escuchar con la introducción de IBOC. A el mismo punto 15 dB los radios portátil parecieron proveer sonido que se podía escuchar con ó sin IBOC. A el punto de 30 dB D\U, todos los radios parecieron proveer sonido que se podía escuchar con o sin IBOC.
- Compatibilidad de la adyacente secundaria. La información indicó que está interferencia de IBOC AM podría ser receptora. En las pruebas de los radios de los recibidores de banda estrecha (típicamente automóviles) no fueron sensitivos a la interferencia de IBOC AM, también los recibidores de Hi-Fi y portátiles experimentaron interferencia.
- Compatibilidad de una adyacente tercera. IBOC AM no esperaba tener un impacto sobre la cantidad de interferencia de canal de está dentro de la banda de AM, y los resultados de la prueba confirmaron esto.

2.2.9 PRESENTE Y FUTURO DE IBOC Y DAB

El sistema DAB supone una auténtica revolución respecto a la tradicional radiodifusión pues ésta es analógica y nunca llegaría a ofrecer las ventajas del sistema DAB. Sin embargo, precisamente el hecho de suponer un gran cambio (infraestructuras, software, preparación técnica...) junto otros factores pueden frenar su implantación a nivel mundial. Quizá el mayor problema sea la falta de apoyo de la NAB (Asociación Nacional de Emisores de Estados Unidos). Ésta argumenta a su favor la falta de espacio radioeléctrico, entre otras razones. El respaldo de Estados Unidos a este sistema debería ser su principal garantía de futuro.

El primer país donde comenzaron las emisiones regulares de radio digital fue el Reino Unido en 1995. Poco a poco el resto de países europeos están apoyando este sistema y prácticamente en la mayoría de ellos se puede recibir DAB aunque en algunos todavía esté en fase experimental. En julio del año 2000 Suecia era el país con una mayor red de transmisión DAB llegando al 85 % de la población. En Noruega llegaba al 35 %, en Holanda al 50 %, y en Bélgica al 70%.



Figura 2.14
Mapa de la implantación del sistema DAB en abril de 2001.

La situación en España actualmente es buena, pues más del 30% de la población puede recibirla. Se debe alcanzar al 50 % de la población antes finalizar el mes de junio de 2001. Las primeras radiodifusiones digitales comenzaron en abril de 1998 en Madrid, Barcelona y Valencia. Actualmente también existen servicios en el País Vasco, Cataluña y Galicia

En Madrid y Barcelona, se están emitiendo actualmente los múltiplex denominados MF-1; MF-2 y FU-E.

El sistema DAB, como puede deducirse de lo expuesto anteriormente, fue concebido por europeos. Los primeros trabajos sobre DAB aparecieron en Alemania, en el Institut- 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 nº 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. El sistema DAB ha sido el único que la UIT (ITU en inglés) ha reconocido a nivel mundial, a pesar de sus rigurosos requerimientos.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones es la principal organización a nivel mundial en el campo de las telecomunicaciones y la mayor parte de los países forman parte de ella.

El World DAB Forum (Foro Mundial sobre DAB) se dedica, según sus propias palabras, a convertir el sistema DAB una 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.

Es la organización europea que se encarga de los estándares sobre electricidad y electrónica. Varias especificaciones de Eureka 147 ya han sido aprobadas por esta organización ETSI (Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones). Es una organización sin ánimo de lucro cuya misión es producir los estándares de telecomunicaciones que serán utilizados durante décadas en Europa y el extranjero. Esta institución, la más importante en el campo de las telecomunicaciones en Europa, emite sus propios estándares y aprueba los que han elaborado otras organizaciones, como por ejemplo el consorcio Eureka 147.



Figura 2.15 Marcas que fabrican productos para DAB

La investigación que vería si la tecnología IBOC pudiera ofrecer la solución digital para las emisoras de USA se realizó en el año 1994. 3 grupos estaban a cargo: NAB(national Association of Broadcasters, EIA (Electronic Industries Association) y la NRSC(National Radio Systems Committee). Una gran variedad de tecnologías fueron probada en esa época, pero esta primera generación de sistemas demostró un bajo rendimiento, especialmente en la serie de pruebas de impacto sobre la porción analógica de la señal. Por lo tanto se tuvo que hacer algunos cambios como la incorporación de diversidad de tiempo y hacer las bandas laterales digitales de IBOC más independientes para el caso en que una de sus bandas presentara interferencia, fuera posible extraer buen audio digital de la otra banda no contaminada. Mientras se realizaba estos cambios tecnológicos, la estructura de negocios de IBOC también lo estaba haciendo. Después que terminadas las pruebas de EIA/NRSC, USADR y Lucent Technologies entraron en una sociedad en el desarrollo de IBOC. Esta sociedad termino en mayo de 1998 con la formación de Lucent Digital Radio (LDR). En los dos años siguientes se produjo una competencia entre estas dos compañías por producir la mejor tecnología de radio IBOC. Las cosas cambiaron de nuevo en julio del año 2000 con la fusión de estas dos compañías dando origen a la compañía actual de desarrollo de tecnología IBOC, iBiquity Digital Corp. en Columbia. A fines de 2001, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) dio luz verde al sistema de radio digital IBOC, desarrollado por la Empresa Tecnológica iBiquity Digital Corporation, luego de numerosas pruebas que confirmaron la compatibilidad del desarrollo estadounidense con los estándares internacionales para radiodifusión. La firma desarrolla los sistemas de transmisión digital para radio en AM y FM, lo que posibilita la transmisión de las señales digitales simultáneamente con las analógicas en la misma banda de frecuencia, por lo que no es necesaria la utilización de una banda especial del espectro. Según informó la Asociación Internacional de Radiodifusión (AIR), el vicepresidente de iBiquity Digital, Albert Shuldiner manifestó que "la confirmación de la UIT valida aún más

nuestra tecnología y representa un paso significativo hacia la globalización del sistema IBOC para FM". Al parecer, la UIT realizó una amplia evaluación del sistema mediante la revisión de pruebas y estudios de campo que fueron practicadas por 8 emisoras en los Estados Unidos. También se analizaron estudios de laboratorio y tests sobre calidad de audio, mediante entrevistas con más de 400 oyentes sobre miles de grabaciones que se efectuaron durante las pruebas. Por su parte, el Comité Nacional de Sistemas de Radio de EE.UU. notificó a la FCC (Federal Communication Comition) su aprobación al sistema IBOC de iBiquity, estableciendo que garantizará una transmisión eficiente, con mínimo impacto en las operaciones analógicas y sin necesidad de espectro adicional.

El 8 de enero de 2003, iBiquity Digital Corp declaró que la estación WDMK-FM de Detroit fue la primera estación en los Estados Unidos en transmitir comercialmente con el sistema de Radio Digital en Banda y en Canal (IBOC por sus siglas en Inglés).

Finalmente, la radiodifusión sonora digital es un hecho del presente milenio ya sea a través de cualquiera de los sistemas que están en uso en la actualidad.

CAPITULO III

SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN DE AUDIO POR SATELITE (DARS)

3.1 SISTEMAS OPERATIVOS

Este capítulo se resume las principales características de los sistemas operativos para el servicio de transmisión digital de radio por satélite.

En el mundo sólo existen tres sistemas operativos o en pruebas de difusión de audio por satélite:

- WorldSpace
- Sirius CD Radio
- XM Satellite Radio

WORLDSPACE

WorldSpace fue la compañía pionera mundialmente en radio por satélite, puso dos de sus tres satélites (AfriStar y AsiaStar) en órbita geoestacionaria antes que XM y Sirius.

AfriStar y AsiaStar fueron lanzados en octubre de 1998 y en marzo de 2000, respectivamente. Un tercer satélite llamado AmenStar cubrirá gran parte del continente americano. Cada satélite transmite tres haces con más de 40 canales de programación disponible en una multitud de lenguajes incluyendo el inglés, francés, alemán, español, árabe, italiano, hindú y pakistaní, entre otros.

Los haces de WorldSpace están dirigidos particularmente a los países vías en desarrollo, ubicados en África, Asia y América.

La Fundación WorldSpace -parte importante en el contenido de WorldSpace- es una organización sin fines de lucro que fue creada en 1997, para proveer educación y programación informativa a gente de países en desarrollo (analfabetas, pobres y comunidades aisladas).

Los socios de la fundación incluyen ONOs (Organizaciones no gubernamentales), agencias de las naciones unidas, ministerios del gobierno, grupos internacionales, universidades y estaciones de radio de la comunidad.

El contenido de los canales de la Fundación WorldSpace incluye información y educación básica en una variedad de tópicos relacionados con el desarrollo, tales como salud, agricultura, ambiente, la mujer y educación cívica. Los satélites del sistema de WorldSpace fueron construidos en su totalidad por Alcatel Space y Matra Marconi Space de Francia. El lanzamiento de los satélites fue realizado por otra compañía francesa, ArianSpace.

SIRIUS

Sirius satélite radio es otra compañía estadounidense que empezó a ofrecer su servicio de radio por satélite a partir de abril de 2002, en 11 estados de la unión americana, y en julio de 2002 tendrá disponible el servicio en el resto del país.

Tendrá 50 canales de música sin comerciales y otros 50 de noticias, deportes, conciertos en vivo y otra serie de eventos de entretenimiento.

Para reforzar su programación, Sirius estableció alianzas estratégicas con CNBC, National Public Radio, Outdoor Life Networks, Speedvision, USA Network, SCI FI, la BBC de Londres y una cadena hispana de radio.

Por otra parte, Sirius ha hecho acuerdos con los principales fabricantes de automóviles para que los nuevos modelos ya vengan provistos de fábrica con un radio digital por satélite.

Compañías como Chrysler, BMW, Ford, Jaguar, Mazda, Jeep, Audi, y Valva son parte de los 7 millones de vehículos por año, casi la mitad de la línea de producción de Estados Unidos, que vendrán equipados con DSR.

Se espera que sólo las ediciones más lujosas de estos vehículos vengan equipadas con receptores de música por satélite. Los radio receptores están siendo fabricados por Kenwood, Panasonic, Clarion y Jensen. Todos los modelos pueden adaptarse tanto a vehículos como a equipos de casa.

Para aquellos que quieran actualizar el estéreo de su automóvil tendrán dos opciones: comprar un DSR o comprar un adaptador que se conecta a la entrada de la señal de FM. Ambas opciones tienen un costo menor a los \$200 dólares y el servicio tendrá un costo mensual de \$13 dólares.

En lo que se refiere al segmento espacial, Sirius en lugar de utilizar satélites GEO, está constituido por una constelación de tres satélites formando una órbita elíptica inclinada. La trayectoria de la órbita elíptica permitirá a cada satélite permanecer cerca de 16 horas al día sobre el área continental de EUA, con al menos un satélite sobre el país en todas las ocasiones.

Un cuarto satélite de reserva será lanzado para sustituir a cualquiera de los otros tres satélites en caso de que uno falle. Los satélites fueron construidos por la compañía californiana Space Systems/Loral.

XM SATELITE RADIO

EL 13 de mayo de 2001, fue lanzado el segundo satélite de XM cuyo nombre es "Roll". El primer satélite "Rock" fue lanzado el 8 de enero del mismo año, por lo que "Rock" & "Roll" ya están operando y en órbita. El segundo satélite cuya masa es de 4,672 kilogramos, está localizado en 85° de latitud oeste. El primero, en cambio, está ubicado a 115° de latitud oeste. Ambos satélites están localizados en una órbita geoestacionaria (GEO) cubriendo a los EUA. El bus del satélite es el modelo HS 702, construido por uno de los fabricantes más importantes de satélites, Boeing Satellite Systems.

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 TWTs (*Traveling wave tube*) activos de 228 watts (más seis reservas), generando aproximadamente 3,000 watts de señal de RF (radio frecuencia).

El lanzamiento de los satélites, fueron realizados por Sea Launch, un lanzador de satélites comerciales cuya plataforma está en el océano. Se dice que este tipo de lanzadores ofrece 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.

XM Satélite Radio realizó inversiones estratégicas con compañías de TV, radio y automovilísticas. Entre ellas se encuentran: General Motors, Honda, Clear Channel Communications, DirecTV y Motient.

Los DSR de XM están siendo fabricados por Sony, Alpine, Pioneer, Clarion, Blaupunkt, Delphi-Delco, Visteon, Panasonic y Sanyo. XM ofrece un paquete de 100 canales con sonido digital, entre los que se encuentran música, noticias, deportes,

comedia y programación infantil. Los equipos receptores para automóvil tienen un costo aproximado de \$330 dólares, incluida la antena. Existe una versión que puede instalarse tanto en un vehículo como en un hogar u oficina con un costo de \$300 dólares.

El costo del servicio es de \$10 dólares mensuales.

A manera de revisión de los sistemas mencionados se hace un breve resumen de sus características:

3.1.1 XM SATELLITE RADIO



XM Satellite Radio inicio en septiembre del 2001 a proveer servicios de radiodifusión de audio por satélite haciendo uso de dos satélites geoestacionarios de alta potencia y una red repetidora terrestre. En 1997 junto con Sirius Satellite Radio obtuvo una de las dos licencias de la FCC para proporcionar estos servicios en Estados Unidos. Transmitirá 100 canales de música noticias y entretenimiento.

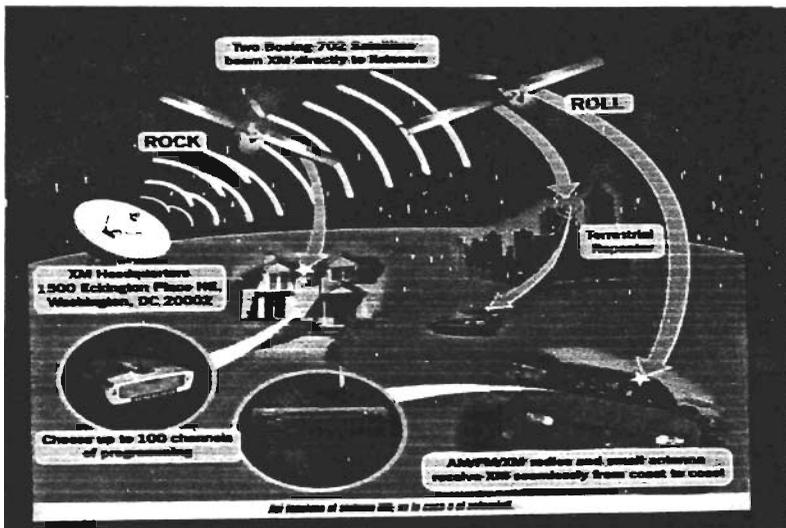


Figura 3.1 Así funciona XM

El sistema XM Radio opera con dos satélites geoestacionarios en las posiciones orbitales 85° O Y 115° O, a los que se transmite desde el Centro de integración de Contenido en la ciudad de Washington, una portadora que integra las señales de 100 canales de radio más datos de información, y una segunda portadora de la misma señal desfasada un cierto intervalo de tiempo, transmitiendo ambas señales a través de los dos satélites, lo que permite contar con una buena recepción por diversidad por acimut por la separación orbital de los dos satélites y por diversidad por tiempo por la recepción de dos señales iguales, una con retardo con respecto a la otra.

Dichas señales de ambos satélites en conjunto con una red terrestre de 1500 transmisores ubicados en las principales ciudades permite la recepción continua de las señales de radio, a pesar de pueda existir bloqueo en una o en dos de las fuentes de la señal por satélite.

Receptores:

- Portátiles
- Residenciales
- Antenas tamaño mouse

En 1998, las compañías Alpine, Pioneer, Panasonic, Hitachi y Sharp se unieron para fabricar los receptores de XM Radio. Los receptores permitirán además la recepción de radio convencional AM y FM, algunos incluirán cambiador de CD's. Modelos de receptores específicos permitirán una operación dual; en el automóvil y en la casa.

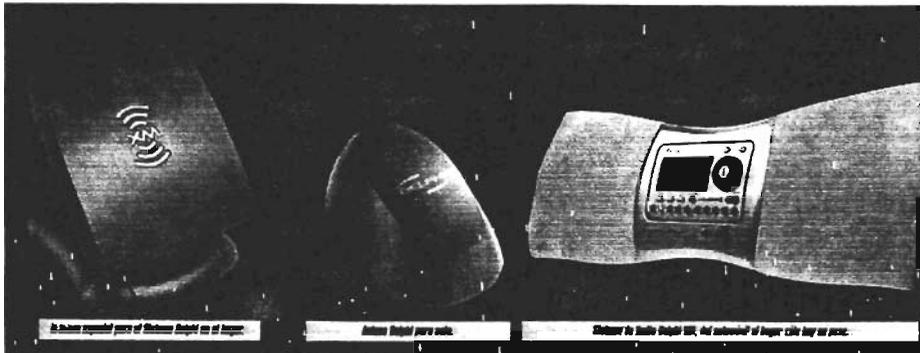


Figura 3.2 Receptores XM Radio

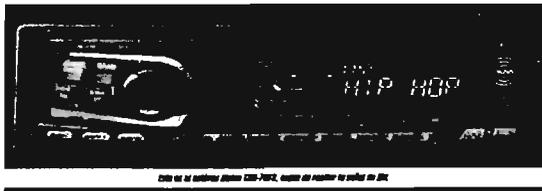


Figura 3.3 Stereo Alpine CDA-7873

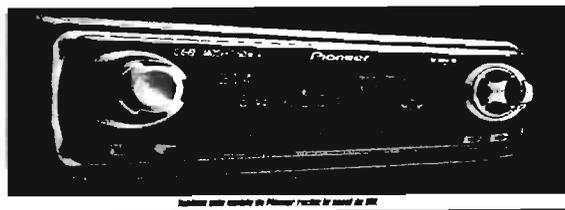


Figura 3.4 Stereo Pioneer recibe señal de XM

SATELITES

Los satélites del Sistema XM Radio del modelo HS-702 fueron construidos por la compañía Hules Pace ad Communications, ahora Boeing Communications. Son los de mayor potencia en su tipo. Las características de mayor importancia:

Configuración	3 Satélites	2 En órbita y uno de respaldo en tierra
Posiciones orbitales	85° O Satélite Rock 115° O Satélite Roll	Lanzamiento Octubre 2000 Lanzamiento Mayo 2001
Tipo	Hs-702	
Potencia	9.5 Kw	
Frecuencia	Banda -S	
Carga útil	Alcatel	
Bus	Hughes	Hs-702
Ancho de banda	12.5Mhz	2332.5 a 2345.0 Mhz

Tabla 3.1

El sistema de XM Radio emplea dos satélites para mejorar la recepción de la señal por diversidad de acimut cuando se tiene bloqueo de uno de los satélites, como se muestra en la figura.

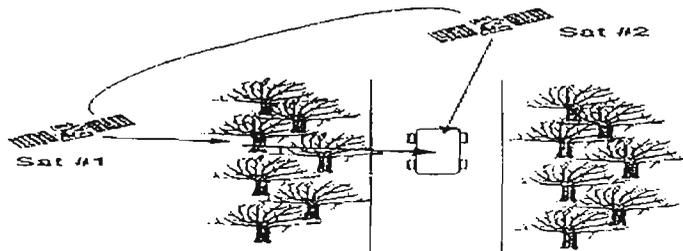


Figura 3.5 Funcionamiento de Satélites XM Radio

La cobertura de los dos satélites es de la parte continental de Estados Unidos (se excluye Alaska, Puerto Rico y Hawai). Los ángulos de elevación para esta cobertura en las ciudades de interés ubicadas en los extremos de la cobertura se indican en la tabla.

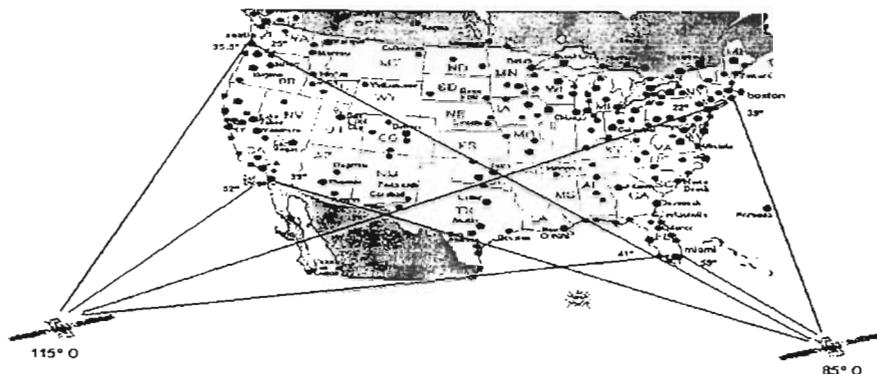


Figura 3.6 Cobertura XM Radio

Posición Orbital	Seattle	Miami	Boston	San Diego
115°O	35.5°	40.8°	22°	52°
85°O	25°	59°	39°	38.8°

Tabla 3.2

Repetidores

Los receptores del sistema XM Radio requieren de línea de vista para la recepción de la señal de los satélites, teniendo menores ángulos de elevación en comparación con el sistema de Sirius Satélite Radio el que cuenta con satélites en una órbita altamente elíptica sobre los Estados Unidos.

Dados los ángulos de elevación menores a 22° en la parte de Estados Unidos, el sistema integra una red de retransmisión terrestre, que consta de 1500 repetidores en 66 zonas de ciudad con problemas de recepción en las zonas de alta y media densidad urbana, sobretudo en las ciudades más al norte de la unión americana. Estos receptores cuentan con una potencia de 2 Kwatts y están separados por unas cuantas cuadras entre ellos. El costo estimado de la red terrestre es de aproximadamente \$263 millones de dólares.

Los puntos mas criticos de cobertura, en los que se requerirá de radiotransmisores terrestres, en el caso de bloqueo del satélite en 85°, son para la posición orbital de 115°O, en el área de la megalópolis que se forma por la confluencia de las ciudades de Nueva York, Washington, Boston y áreas cercanas con 22° grados de elevación en promedio y aún menores para la parte hacia el norte de dicha ciudad. Y por otro lado, en caso de bloqueo del satélite de la posición 115° O, en la zona de Seattle con 25° de elevación respecto a la posición 85°O.

Espectro.

XM Radio hace uso de 12.5 Mhz de espectro asignado por la FCC como parte de las dos concesiones otorgadas por esta última en 1997, dividiendo los 25 Mhz disponibles en dos porciones de 12.5 Mhz a XM Radio y a la compañía Sirius Satellite Radio. 15 Mhz del espectro contiguo en la parte alta de la banda están asignados a México.

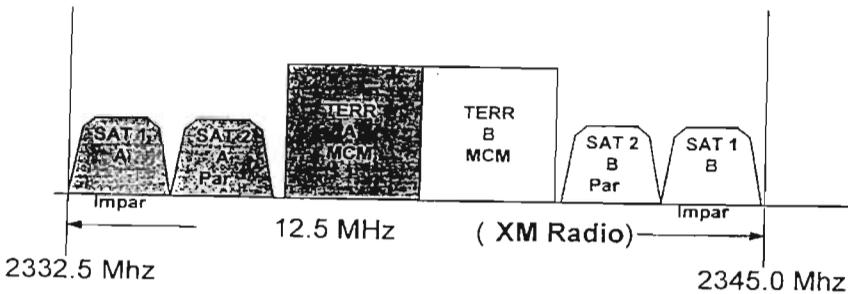


Figura 3.7 Espectro Asignado por la FCC para XM Radio

3.1.2 SIRIUS SATELLITE RADIO



En octubre de 1997 la FCC (Federal Communications Commission), asignó a Sirius Satellite Radio, una de las dos licencias de transmisión de radio vía satélite, pagando Sirius un costo de \$ 83.3 millones de dólares por el otorgamiento de la licencia.

Sirius Satellite Radio transmitirá 100 canales digitales de radio de voz y música en los Estados Unidos, mediante radios receptores para automóviles que a la vez pueden recibir señales de AM, FM, Y la señal vía satélite del sistema SIRIUS (CD Radio), incluyendo la posición del automóvil (GPS). Sirius al igual que XM Radio transmitirá 50 canales de música comercial y hasta 50 canales de programación de noticias, deportes, pláticas, niños y comedia. Sirius tiene planes de inicio del servicio en el verano del 2001.

Sirius Satellite Radio tiene alianzas con varias compañías fabricantes de automóviles, tales como: Ford, Chrysler, BMW, Mercedes, Jaguar y otros fabricantes para la instalación de radios en las tres bandas indicadas AM/FM/SAT, y acuerdos con fabricantes de receptores para construir adaptadores de radio para los vehículos existentes.

Satélites

Características	
Vida útil	15 años
Frecuencia	Banda S 2320-2332.5 Mhz
Ancho de banda	12.5 Mhz
Potencia de transmisión	RF = 3840W (32 TWTA'S combinados)
Orbita	High Elliptical Orbit (HEO)
Perigeo	24,469 Km.
Apogeo	47,102
Pire	61.1 dBW

Tabla 3.3

El sistema de Sirius Satellite Radio consta de tres satélites Loral FS-1300s en órbita para la transmisión de radio vía satélite. Estos satélites fueron lanzados en Junio, Septiembre y

Noviembre del 2000 respectivamente.

Características de canalización.

- Modulación QPSK
- 50 canales de música digital estéreo
- 50 canales de voz - radio a 24 Kbps
- Velocidad de información: 4.4 Mbps
- Ancho de banda: 4.2 Mhz
- Repetidores terrestres: Modulación COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Modulation)

Repetidores

Sinus complementará su cobertura con una red de transmisores en 56 áreas metropolitanas teniendo en construcción la instalación de 105 a 110 repetidores terrestres para mantener línea de vista entre los satélites y los receptores. Las áreas de alta densidad de edificios como New York y San Francisco contarán con 9 y 5 repetidores ubicados con varias millas cuadradas de separación entre ellos. Otras de menor densidad requerirán de un solo repetidor como es el caso de la ciudad de Kansas. Cada uno de los repetidores tendrá una potencia de 30 Kw.

Costo del servicio: \$12 dólares por mes

Costo del receptor: \$199.95 dólares

Fabricantes: Audiovox, Alpine, Clarion, Delco Electronics, Jensen, Kenwood, Panasonic, Recoton, Sanyo y Visteon.

3.1.3 WORLDSPACE



WorldSpace inició el diseño de su sistema en 1995, haciendo pruebas de factibilidad de la aplicación mediante la transmisión y recepción de la señal de audio en 1996 con uno de los satélites del sistema Solidaridad. Actualmente presta servicios en Europa, África y Asia, y entrará en operación en América en el 2001. A finales del año 2000, WorldSpace contaba con 50,000 terminales de usuario.

Satélite	Lanzamiento	Posición Orbital
AfnStar	Octubre 1998	21° E
AsiaStar	Marzo 2000	105° E
AmeriStar	Durante 2001	95° O

Tabla 3.3 Posiciones orbitales de los satélites

El contrato con Alcatel para la construcción/ lanzamiento y seguro de los 3 satélites geostacionarios modelo Eurostar fue de \$650 Millones de dólares.

Características	
Masa total	2785 Kg
Potencia	5550 W
G / T	12.6 dB/K
Pire	48.8 dBW
Vida útil	15 años

Tabla 3.4

El sistema de WorldSpace trabaja en parte de la banda L (1452 a 1492 Mhz). El servicio es unidireccional. Cada satélite transmite 3 haces, sirviendo tres regiones geográficas diferentes, con más de 50 servicios por haz y con una velocidad de transmisión de 16 Kbps a 128 Kbps.

Áreas de cobertura

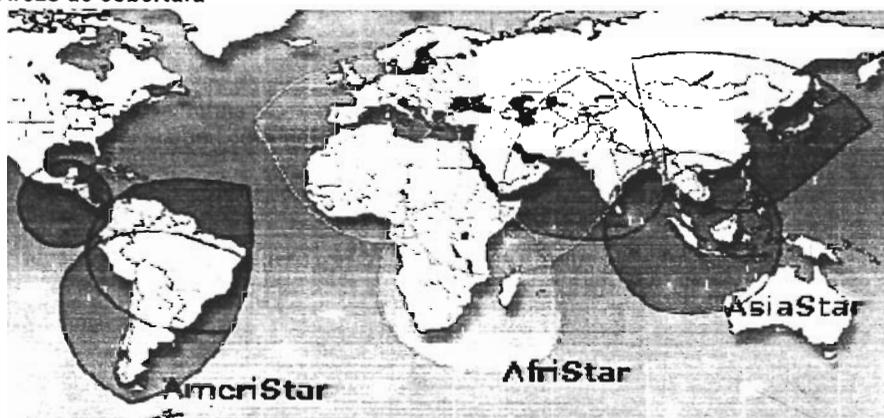


Figura 3.7 Áreas de cobertura WorldSpace

Parte de la potencia de los satélites del sistema se desperdicia sobre coberturas marítimas en la que el número de usuarios es casi nulo.

El satélite AmeriStar a ser lanzado el presente año, en la frecuencia en 2 Ghz, tendrá cobertura sobre Sudamérica, Centroamérica y sobre la parte centro y sur de México. Lo que no afectará el sistema propuesto por México en las posiciones 77°O Y 127°O o cualquier otra intermedia, por operar en rangos de frecuencias diferentes.

Radio receptores.

Los receptores son sólo del tipo semifijo, de acuerdo al plan de negocios y al diseño del sistema. incluyendo el satélite. Por lo que no se cuenta para las tres coberturas de cada satélite con un segundo satélite ni con una segunda señal retrasada. De esta manera se reduce además el requerimiento de potencia de transmisión (PIRE). Los radios operan sólo bajo línea de vista mediante una pequeña antena con conexión externa. Son fabricados por marcas líderes como: Hitachi, JVC, Matsushita (Panasonic) y Sanyo, con costos al usuario de \$200 hasta \$400 dólares, contando con modelos de menor precio en el rango de \$75 a 125 USD. Además de la facilidad de recepción de audio de calidad monaural (voz), FM y casi CD cuentan con un puerto de recepción de datos para aplicaciones de

Broadcast, así mismo pueden sintonizar las bandas de frecuencia de radiotransmisión convencionales.

Los principales componentes del receptor de WorldSpace es un Chipset STARMAN® que demodula y descomprime la señal transmitida, los Chipsets usados son SGS y Thompson. El sistema XM Radio también hace uso de este mismo tipo de chipsets. El funcionamiento del radioreceptor se muestra en el diagrama a bloques siguiente:

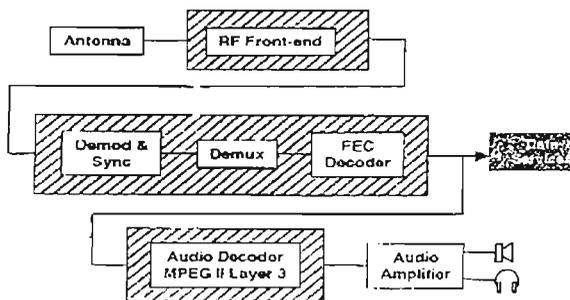


Figura 3.8 Funcionamiento de un radioreceptor

Telekiosko

Una de las aplicaciones que ofrece el sistema de WorldSpace es la de Telekiosko, aprovechando la capacidad de recepción de datos, el cual es un centro de tecnología avanzado que proporciona servicios de información a poblaciones rurales, así como soporte a pequeños negocios, algunos servicios del Telekiosko son:

- ◊ Programas de audio digital
- ◊ Transmisión de Datos (texto, audio, imágenes)
- ◊ Programas de educación y salud
- ◊ Información de emergencia y desastres naturales
- ◊ Servicios de fax, teléfono (Inmarsat)

El servicio se presta mediante el puerto de datos de un receptor de audio, con la desventaja de no ser bidireccional y de no contar con una gran capacidad de los enlaces de transmisión de datos, por lo que la mayor parte del contenido se transmite de acuerdo a una selección previa de los temas de mayor interés en la región.

Acceso al satélite

El acceso al satélite se efectúa de 2 maneras:

1. Terminales VSAT.
2. Estaciones terrenas compartidas.



Figura 3.9 Telekiosko

Método de procesamiento

El Sistema de WorldSpace cuenta con dos métodos de procesamiento.

1. Procesamiento a bordo
2. Amplificación convencional

Procesador a bordo:

Acceso a través de transmisiones individuales en FDMA, en banda X (7, 025 a 7,075 Mhz).

- Cualquier enlace de subida puede transmitir en uno, dos ó tres haces.
- Demodula los canales primarios de subida.
- Formatea la señal de TDM
- Canal de Broadcast. Se divide en canales primarios, cada uno con una capacidad de 16 Kbps.
- El enlace de subida puede manejar hasta 288 canales primarios.

El procesador digital a bordo del satélite demultiplexa y demodula los canales primarios a nivel de banda base y los integra en una señal TDM para su transmisión.

La potencia en banda L, se logra con dos TWT de 150 W en paralelo.

Amplificación convencional:

Vanos generadores de contenido entregan las señales de audio a una Estación Terrena, la cual separa cada una de las señales por canales primarios y lleva a cabo el proceso de formateo e integración del TDM, de manera similar al del procesa dar digital a bordo.

Las señales TDM se transmiten al satélite (un máximo de 3). El satélite las convierte de banda X a banda L y las retransmite a los usuarios.

Calidad del Sonido:

La calidad de las señales en el sistema WorldSpace se clasifica de tres maneras:

- 16 Kbps Audio monaural
- 32Kbps Calidad FM
- 128 Kbps Calidad, comparable a CD

Capacidad de Transmisión

En cada uno de los 3 haces se transmiten 2 señales TDM (1 TDM = 48 canales primarios de 16 Kbps cada uno).

1. - Uno por el procesador a bordo
2. - Uno por el transpondedor libre

Un satélite puede transmitir hasta 288 canales de 16Kbps, lo que se traduce en 96 canales de 16 Kbps por haz. De esta manera un usuario dentro de una de las tres zonas de cobertura de puede sintonizar hasta 96 señales de radio monaural o 48 con calidad FM estéreo o 24 canales en calidad CD, o una combinación de estos.

En el futuro, el sistema podrá soportar tasas de hasta 1.5 Mbps para distribución de datos. El satélite transmite en banda L (1,467 a 1,492 Mhz), asignados por la UIT para transmisión via satélite de servicios digitales.

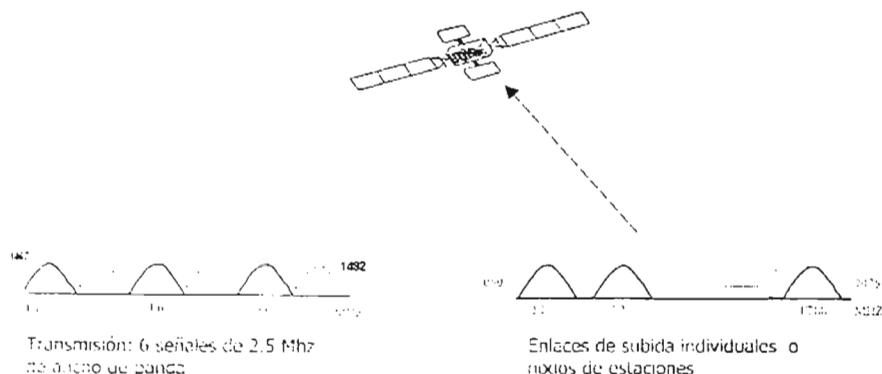


Figura 3.10 Transmisión de 6 señales TDM de 2.5 Mhz de ancho de banda.

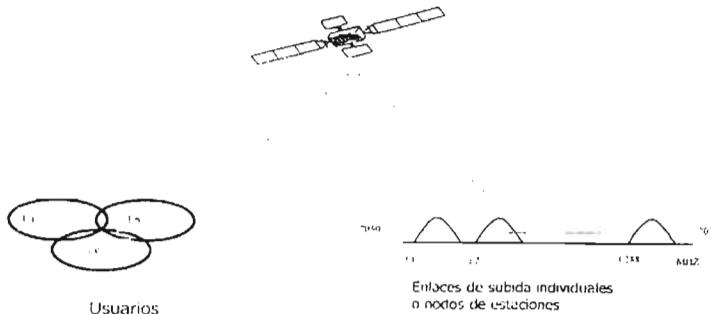


Figura 3.11

Capacidad:

6 canales TDM

3 procesador

3 Amplificación convencional

1.536 Mbps no codificados

(3.68 Mbps codificado)

96 canales primarios por TDM

96 canales x 3 = 288 señales

La configuración de la antena en órbita permite la optimización de la cobertura y el reemplazo del satélite por otro si fuera necesario.

3.1.4 ASPECTOS TÉCNICOS DE LA TRANSMISIÓN DE RADIO VIA SATELITE

Atenuación de la señal por follaje.

En áreas urbanas así como en caminos donde existe una gran cantidad de árboles con alturas considerables en la misma dirección de la línea de vista del satélite y peor aún cuando el follaje se ubica muy cerca del vehículo en tránsito, la señal se atenúa y pierde continuidad en la transmisión pudiendo bloquearse totalmente durante el periodo de tiempo en que el vehículo cruza este follaje.

El margen de potencia del enlace de 8 a 12 dB que proporciona el satélite en muchos casos contrarresta la atenuación del follaje, la cual depende directamente del margen del ángulo de elevación, sin embargo considerando línea de vista, en algunos casos resulta insuficiente, teniéndose pérdida de señal. En este caso, dado que en estas áreas de cobertura no se cuenta con repetidores terrestres es de utilidad contar con una configuración de dos satélites para tener una buena recepción de señal por diversidad de señal por diferencias de ángulo de acimut como se muestra en la figura. Es muy probable que en presencia de follaje espeso se bloquearán ambas señales.

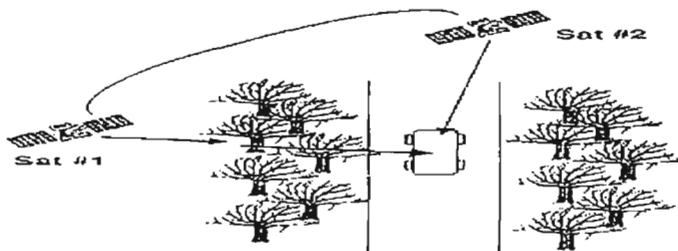


Figura 3.6 Funcionamiento de satélites ante un Follaje

En la parte de abajo se muestra una gráfica típica de atenuación de señal en decibeles por atenuación de follaje, en ésta se marca el nivel de atenuación que sufre la señal. Esta atenuación variará de acuerdo a las condiciones del camino, al tipo, estructura, altura del follaje y a la forma de manejo, siendo directamente dependiente del ángulo de elevación y del margen de señal transmitida.

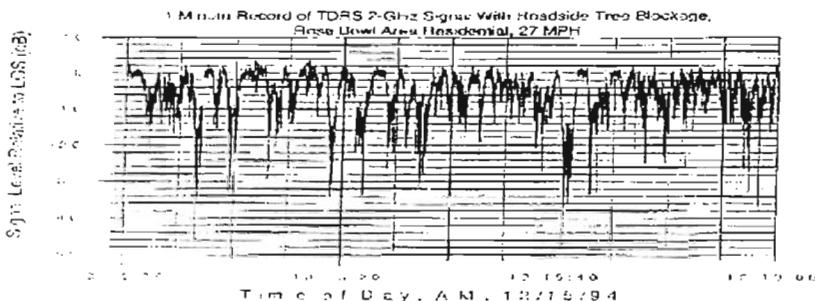


Figura 3.7 Atenuación de la señal

Ventajas de la retransmisión de la misma señal.

Con el fin de contrarrestar la atenuación de la señal del satélite causada por follaje o por bloqueos, los que dependen de manera directa del ángulo de elevación de recepción, el satélite retransmite la misma señal retrasada un periodo determinado de tiempo, el que se determina en base a pruebas de campo. La señal procesada y enviada a los altavoces corresponde a una combinación de ambas señales. El proceso consiste básicamente en el almacenamiento de la señal desfasada ($t = 0 + Ct$), la que constituye en mayor parte la señal a amplificar, rellenando los espacios de carencia de información con la señal transmitida en $t = 0$.

Al contar con la retransmisión de la señal desfasada en tiempo se tiene una mejor recepción de la señal, esto es posible gracias a la técnica de diversidad en tiempo arriba indicada. Con esta técnica se tienen las siguientes ventajas:

- Combate largos periodos de corte de la señal, cuando no se tienen repetidores terrestres. Estos cortes de señal son comunes en áreas urbanas.

- "Cero Retardos". Asegura una buena recepción de señal, la posibilidad cambio de canales, y señales sin interrupción durante el periodo de desfase de ambas señales. En este ejemplo se indica dicho retraso como $\Delta t = 30$ segundos.

La mayoría de la programación en el estudio se amplifica en modo "pseudo live" con un retraso de 30 segundos con la finalidad de que la señal que escucha el usuario no sufra interrupciones.

Diversificación del tiempo para la retransmisión

La técnica de diversidad en tiempo consiste en demodular y decodificar los paquetes de información multiplexados en tiempo.

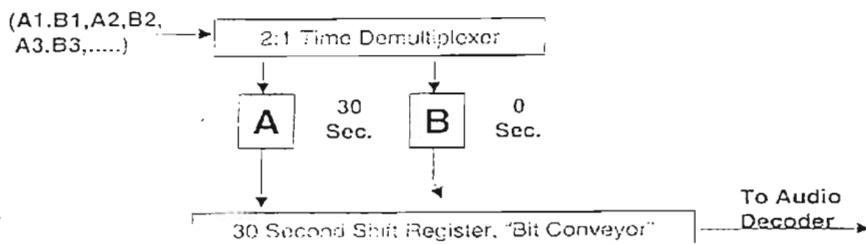


Figura 3.8 Diversidad por tiempo

En caso de contar con una segunda señal igual a la señal original retrasada un cierto periodo de tiempo, en segundos, el bloqueo máximo permitido de la señal será igual al tiempo de retraso. Si este se excede se perderá la señal. Este tiempo permite tener continuidad en paradas o en bloqueos continuos.

Al encender el equipo, la señal enviada a procesamiento corresponderá a la del sin retardo (canal B), para posteriormente conmutar a la señal con retraso (canal A), el ajuste se lleva a cabo mediante bloques de tiempo de "acoplamiento", pudiendo ajustar este tiempo ya sea en comerciales o en mensajes de identificación de la emisora.

En caso de transmisiones de emergencia se conmutará a la señal sin retardo.



Figura 3.9 Diversidad del tiempo. Transmisión

CAPITULO IV

CASO MÉXICO DARS

4.1 CASO MÉXICO CON UN SOLO SATELITE

La transmisión de audio digital por satélite, es un servicio de comunicación de reciente aplicación que permite la transmisión de señales digitales de audio para su recepción en radio receptores instalados en vehículos, en aparatos portátiles y en casas-habitación. Así mismo por su carácter de medio digital permite la transmisión de datos en un sentido con aplicaciones tipo Internet o difusión de contenidos.

La tecnología DARS permite ofrecer a los usuarios potenciales tres beneficios que no se han prestado en los sistemas de radiotransmisión de audio convencional de amplitud modulada AM y frecuencia modulada FM.

- Sonido con calidad digital e información en display
- Variedad en la programación
- Cobertura en toda una región de cobertura

Se prevé que estas características únicas de los sistemas de transmisión de audio por satélite marquen la diferencia para la aceptación y éxito comercial del servicio, ofreciendo una mayor relación de tiempo de contenido contra tiempo de comerciales, por las características de suscripción. Los radiorreceptores además serán capaces de sintonizar los sistemas convencionales en amplitud modulada AM y frecuencia modulada FM.

En este capítulo se analiza la factibilidad técnica para contar con el servicio de transmisión de audio por satélite con cobertura de la república mexicana, con posibilidad de extender la misma para cubrir Centroamérica y la parte norte de Sudamérica haciendo uso de un sistema de satélites en las posiciones orbitales asignadas a México para este servicio en las frecuencias coordinadas.

Posición orbital: 77° O, 127° O, u otra conveniente.

Cobertura: México o Regional incluyendo Centroamérica y el norte de Sudamérica.

Básicamente se analizan dos opciones:

- Un solo satélite en la posición 77° O u otra propuesta.
- Dos satélites en las posiciones 127° O y 77° O.

Este capítulo se da la alternativa más viable un sistema con un solo satélite dedicado, considerando una reducción substancial en el costo de implementación. Además considera una configuración de dos satélites dedicados para el servicio DARS, y como anexo se incluye una configuración con una carga compartida en banda lo considera una configuración de dos satélites dedicados para el servicio DARS y como anexo se incluye una configuración con una carga compartida en banda L.

Esta opción es atractiva considerando un satélite dedicado para el servicio DARS, teniendo ventajas de mercado y costo. Requerirá desarrollarse con un esquema de

participación de la inversión privada. Se considera técnicamente viable y económicamente rentable en el corto plazo, como se detalla a continuación.

4.1.1 ANALISIS TÉCNICO

Dado que México se ubica entre las latitudes 14.5° y 32.50° N, lo que se refleja como, ventaja inmediata en mejores ángulos de recepción, a diferencia de los EU que se ubica entre las latitudes 30.0° y 50.0° N, es viable para un sistema DARS mexicano una configuración de un solo satélite, en una posición orbital entre los paralelos que ocupa el país 87° y 117° O, o cercana a estos, o bien entre las posiciones orbitales 77° y 127° O.

Ventajas.

Las ventajas de implementar un sistema satelital de DARS en México son:

- México como país no cuenta con un gran número de ciudades con edificios altos que puedan causar un bloqueo significativo de la señal.
- La zona norte y noroeste del país incluyendo la península de Baja California en la que se tienen los ángulos de elevación menores es del tipo semidesértico, con una baja densidad de población y con amplios espacios en las zonas de ciudad lo que facilita la sintonización de la señal.
- Se cuenta con pocas ciudades de importancia en la parte norte del país, las de mayor relevancia son: Tijuana, Ensenada, El Paso, Nuevo Laredo, sin obstrucciones montañosas.
- Inclusive se podría considerar que dada la forma del país, México cuenta con un mayor número de carreteras en el sentido norte-sur y noroeste-sureste, a diferencia de los Estados Unidos en que cuenta con más carreteras en el sentido oeste-este, lo que tendrá como ventaja menor bloqueo de la señal de un satélite en la posición 77° O a 90° O hacia adonde converge la forma del país.
- La Cd. de México y las ciudades cercanas a ésta, como Toluca, Cuernavaca, Pachuca, Puebla alojan a la mayoría de los automotores. Para esta área se cuenta con ángulos de elevación arriba de 62°.
- Las áreas de mayor tráfico de vehículos fuera del área arriba indicada son las de Monterrey y Guadalajara con ángulos de elevación mayores a 57° (posición de 90° O), lo que permitirá la recepción de la señal. Ambas ciudades presentan pocas obstrucciones.
- La mayoría de la zona de bosque y selva se encuentra abajo del paralelo 20° N, lo que permite la recepción sin obstrucción la mayor parte del tiempo.
- Las áreas de ciudad de importancia que presenten problemas de bloqueo se complementarán con radio-transmisores terrestres, los que se instalarían en las ciudades de bajos ángulos de elevación y de concentración de obstrucciones como la Cd. de México, Puebla, Guanajuato, Toluca, Cuernavaca. Estos radiotransmisores se requerirán sólo en áreas específicas dentro de una ciudad.
- México cuenta con poca infraestructura de túneles con lo que no se obstruirá la señal y no se requieren de repetidores.

La operación del sistema por el nivel de potencia de las señales transmitidas follaje y por la mejora en los ángulos de recepción, permite una cierta degradación del nivel de recepción de señal, inclusive con atenuación. Además el satélite transmite una replica de la señal original retrasada un intervalo específico de tiempo, lo que permite reconstituir la señal sintonizada a pesar del bloqueo de la línea de vista.

Validación técnica preliminar.

El Sistema de Estados Unidos de la compañía XM Radio realizó pruebas de comportamiento en la Cd. De Los Ángeles con un solo satélite ubicado en la posición de 115° O Y con un transmisor de 10 Kw de potencia. Los ángulos de elevación determinados para esta posición orbital fueron de aproximadamente 52°, logrando una confiabilidad del 98.81% en un recorrido de 30.5 horas. Estos mismos ángulos de elevación son similares a los de la ciudad de Chihuahua en el extremo noroeste del país, para un satélite ubicado en la posición 90° O (como se define más adelante), lo que se traduce en una mejor confiabilidad para las áreas y ciudades ubicadas por debajo de dicha ciudad.

En estudios anteriores XM Radio determinó que su sistema puede operar con una de las dos posiciones orbitales (85° O ó 115° O), afectando dicho comportamiento de un 97% de disponibilidad a un 93-94% el que mejora con el sistema de radio transmisores terrestres. Para el caso de México este porcentaje se mejora de manera importante por las razones arriba indicadas.

Ángulos de elevación DARS Estados Unidos.

Los ángulos de elevación para el caso de los Estados Unidos para las posiciones orbitales 115° O Y 85° O calculados para las ciudades localizadas en los extremos de cobertura son:

Ciudad	115° O	85° O
Seattle	35.53°	25.13°
San Diego	52.02°	38.84°
Boston	22.17°	39.03°
Miami	40.84°	59.1°

Tabla 4.1 Ángulos de elevación DARS

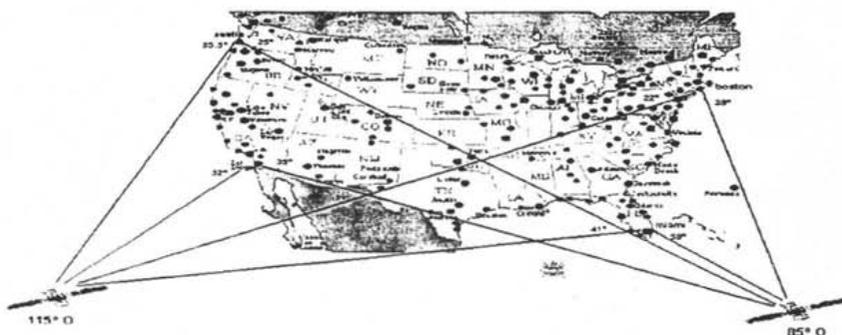


Figura 4.1 Cobertura de Satélites XM Radio

Los casos críticos para Estados Unidos se tienen cuando existe bloqueo de uno o en ambos satélites, en particular en los extremos norte de ese país con grados de elevación menores a 22.17° y 25.13° . Por esta razón el Sistema XM Radio cuenta con 1500 repetidores que reciben la señal del satélite y la amplifican en las ciudades en pequeñas celdas, teniéndose una cobertura de 66 ciudades identificadas con problemas de recepción. La mayoría de las cuales se ubican en la parte norte de Estados Unidos, donde en coincidencia se concentra la mayor parte de la población.

Ángulos de elevación DARS México

Para el caso de México con un solo satélite, para diversas posiciones orbitales de interés, los ángulos de elevación de las ciudades de mayor importancia y para aquellas que marcan el extremo de la cobertura son:

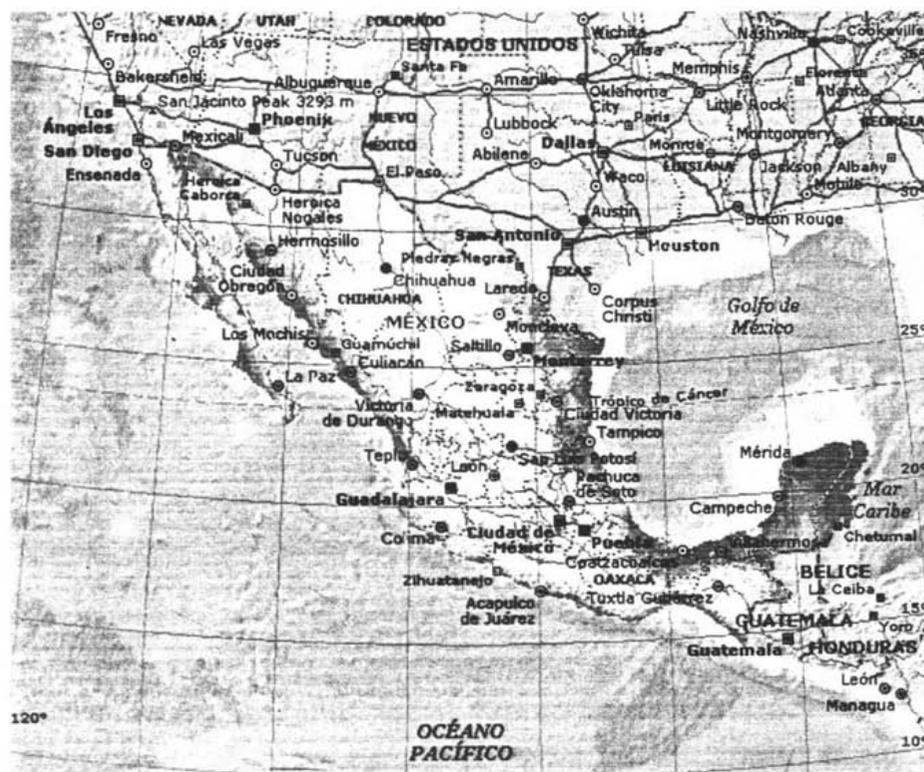


Figura 4.2 Imagen de la Republica Mexicana

Ciudad	Elevación en Grados			
	77° O	90° O	109° O	127° O
Tijuana BCN	32.79	42.13	51.12	50.61
Matamoros	53.25	58.83	55.63	43.37
Chihuahua	43.91	54.24	56.44	49.4
Monterrey N.L.	50.22	57.71	58.24	47.7
Guadalajara Jal.	51.74	61.55	64.9	53.8
Cd. de México	56.19	65.07	64.48	50.94
Cancún Q. Roo	60.00	63.27	54.9	39.92
Tapachula Chis.	95.43	72.65	63.91	46.66

Tabla 4.2 Ángulos de Elevación de Estados de México

La posición de 77° O cumple con los ángulos de elevación, aún 10° a 15° mayores a los de las ciudades de los Estados Unidos. Para una configuración de un solo satélite se descarta la posición de 127° O por presentar ángulos menores en las partes de mayor concentración de población de México y en la parte sur del país, sin posibilidad de ofrecer el servicio fuera de la República Mexicana hacia Centroamérica. La posición de 109.2° O se indica como referencia.

Una mejor posición satelital para un Sistema DARS mexicano de un solo satélite es la posición 90° O ó cualquiera cercana, la que mejora los ángulos de recepción 10° con respecto a la posición de 77° O, teniéndose un mínimo para la República Mexicana de 42.13° en la ciudad de Tijuana, BCN. Asegurando ángulos con poca probabilidad de bloqueo en Monterrey y Guadalajara y en la ciudad de México y aledaños, en donde se concentra la mayoría de los automotores. Cualquier población abajo de la ciudad de México se beneficiará con mejores ángulos de recepción.

Para una posición de 90° ó 77° O, las áreas de cobertura urbana con problemas de recepción se podrán rellenar con transmisores terrestres locales en el mismo rango de frecuencias del satélite, los que serían mínimos para la posición orbital 90° O, limitándose a las ciudades de importancia en la parte noroeste del país y para las ciudades de Monterrey, Guadalajara, Cd. de México y las ciudades cercanas a ésta, en áreas determinadas de bloqueo. A diferencia de la red del sistema XM Radio en Estados Unidos que cuenta con 1300 a 1500 repetidores distribuidos en 66 ciudades, en México se tendría una disminución considerable de repetidores dadas las diferencias en los ángulos de elevación y de tipo de infraestructura, comparadas con las ciudades de Estados Unidos.

4.1.2 COBERTURA EN CENTROAMÉRICA Y NORTE DE SUDAMERICA

El modelo de satélite único en la posición de 90° O ó cercana hasta la posición 77° O permite además cobertura de Centroamérica y la parte norte y centro de Sudamérica hasta el paralelo 24°

Se tienen ángulos de elevación arriba de los 65° para la recepción de la señal para la zona de cobertura que incluye Colombia, Ecuador, Paraguay, Bolivia, Perú y parte de Venezuela, y arriba de los 710 para el área de Centroamérica, Ecuador, parte de Perú y Colombia. Estas áreas de cobertura cuentan con el mismo tipo de infraestructura de ciudades que el caso de México, lo que permitirá una aplicación con un solo satélite.

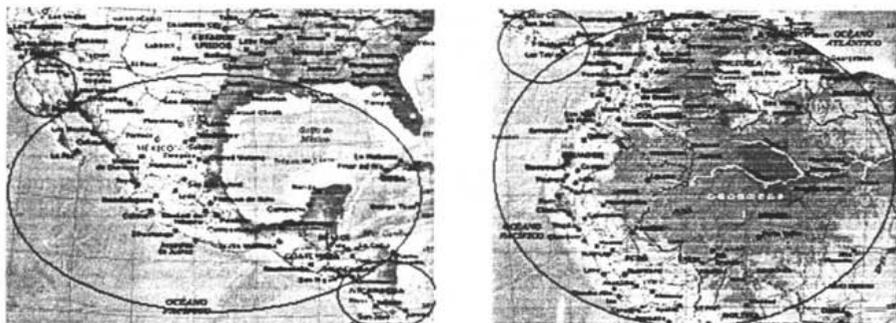


Figura 4.3 Cobertura en Centroamérica y norte de Sudamérica

Con ángulos de elevación similares a la Cd. de Tijuana la cobertura se extiende hasta Bolivia, Paraguay, Norte de Chile y Argentina, si estas áreas fueran de interés. Se excluye la parte de Brasil por la amplitud de cobertura, la poca población en el área del Amazonas y las diferencias lingüísticas con respecto al resto del continente.

El desplazar la posición orbital de 90° a 77° O beneficiaría al área de Centroamérica y Norte de Sudamérica, degradando el comportamiento en el extremo Noreste de la República Mexicana.

4.1.3 HOMOGENIDAD CULTURAL Y COSTO

En la zona de cobertura propuesta se habla el mismo idioma y la influencia de otros idiomas y culturas no es significativa, por lo que se pueden uniformizar contenidos, a diferencia del modelo de Estados Unidos o Europa en el que se requiere la transmisión de parte de los canales en varios idiomas.

Costo

Costo estimado: Entre 350 y 450 MD, tomando en consideración el desarrollo de la tecnología por parte de XM Radio, tanto en el segmento satelital, terrestre y en terminales de usuario. El proyecto se beneficiaría con las economías de escala del mercado de Estados Unidos. Se considera además la ventaja de que XM Radio tiene establecidos acuerdos con el 24% de los productores de automóviles para que integren los aparatos receptores en sus unidades.

Soporte por parte de XM Radio.

La compañía XM Radio ha indicado disponibilidad para dar soporte técnico al proyecto en México, lo que tendría como ventajas uniformizar la tecnología, ampliar la base de usuarios y mejorar los costos por economías de escala. Así mismo ha indicado que cuenta con un satélite en construcción planeado como respaldo en caso de falla de los satélites que integran su sistema, los que se encuentran en órbita con un comportamiento nominal. Este satélite requeriría cambios en las frecuencias de operación y sustitución del reflector que es el que determina las áreas de cobertura de acuerdo a su contorno.

Es posible realizar pruebas en la frontera de los Estados Unidos del sistema XM Radio con

un receptor que bloquee la señal del satélite ubicado en 115° O para sintonizar únicamente las frecuencias del satélite de la posición 85°O y determinar el comportamiento de la recepción y el grado de confiabilidad. Estas áreas de prueba se pueden considerar como el peor caso.

Consideraciones comerciales.

Para el estudio de viabilidad comercial se debe tomar en cuenta el costo del sistema, el pago por licencias de operación orbital y espectro, y el potencial del mercado y trámites regulatorios en la cobertura propuesta. Por su importancia este aspecto se desglosa en un anexo por separado.

4.1.4 ASPECTO REGULATORIO

México cuenta con dos posiciones asignadas 77° O Y 127° O, Y con 25 Mhz de espectro asignado y coordinado con la FCC. Es posible un cambio de posición orbital sujeto a la notificación ante la UIT y a la coordinación con la FCC, la que deberá de consultar en todo caso a los operadores de Norteamérica Sirius y XM Radio, los que no debieran tener ningún inconveniente. Sirius por ser un sistema de alta órbita elíptica y XM Radio por ventajas de mercado y oportunidad de comercializar su sistema en México.

El pago de derechos por la concesión otorgada por la FCC en 1997 fue para XM Radio de \$89.8 millones de dólares y para Sirius Satellite Radio de \$83.3 millones de dólares, por un término de 10 años contados a partir de la fecha de inicio del servicio. En el caso de México se podría extender una sola concesión, dadas las limitantes del mercado, con un costo menor a los indicados, o bien establecer un porcentaje sobre el beneficio neto, para reducir los costos iniciales del sistema.

El cálculo del beneficio neto en el caso de una cobertura de varios países podrá asociarse con el número de usuarios registrados por país. Así mismo se deberá exigir un número de canales de audio disponibles para el país, o los países dentro de la huella de cobertura, lo que permitirá difundir los programas de gobierno.

Una vez realizado un estudio formal de viabilidad técnica y económica se deberá proceder a emitir las bases de licitación, pudiéndose contar con un sistema operativo en un plazo de un año o un año y medio, una vez realizados todos los procedimientos y ajustes necesarios.

Es de importancia considerar la vida útil del satélite (12 a 15 años) y el arranque comercial paulatino del número de subscriptores, por lo que el sistema no reportará beneficios en los primeros años de operación, alcanzando un punto de equilibrio en tres o cuatro años, con beneficios en los años posteriores. Así mismo es de relevancia considerar el monto de la inversión con respecto al tiempo, ya que una vez lanzado el satélite y puesto en operación el sistema se alcanzará un nivel de costos fijos, sin inversiones de relevancia en los años posteriores.

En caso contrario de que el proyecto técnica o económicamente no sea viable, o que no exista interés en su aplicación, no se considera probable integrar un proyecto de DARS con la o las coberturas propuestas en un plazo menor a tres o cuatro años, y con costos menores. En este caso se desaprovechará el valor del espectro y de las posiciones orbitales asociadas.

4.2 SISTEMA DE DOS SATELITES EN LAS POSICIONES 77° O y 127° O

Un sistema de dos satélites ubicados en las posiciones orbitales indicadas, permitiría dar un mejor grado de servicio por diversidad de espacio al contar con dos fuentes emisoras de una misma señal, con una separación de más de 90° de acimut con respecto al receptor, lo que es de utilidad en caso de bloqueo del una de las señales. La posiciones orbitales asignadas a México en 77° O Y 127° O cumplen con dicho requisito.

Los costos de inversión son equivalentes a los del sistema XM Radio de Estados Unidos con dos satélites en las posiciones orbitales 85° O Y 115° O. Aproximadamente 650 a 750 millones de dólares, sin considerar el costo de desarrollo de tecnología de los satélites, radio receptores y estación transmisora al satélite, y con la ventaja de contar con mejores ángulos de elevación en México, lo que mejoraría los niveles de recepción en las terminales.

Para el caso de Estados Unidos se tienen los siguientes ángulos de elevación.

Ciudad	Latitud grados	Longitud grados	Elevación 115° O	Elevación 85° O
Seattle	47°	122°	35.53°	25.13°
San Diego	32.58°	117°	52.02°	38.84°
Boston	43.0°	73.5°	22.17°	39.03°
Miami	26°	80°	40.84°	59.1°

Tabla 4.3 Ángulos de elevación, latitudes y longitudes de las ciudades situadas en los extremos de los Estados Unidos

Para el caso de México, los ángulos de elevación de las ciudades de mayor importancia y para aquellas que marcan el extremo de la cobertura, para las posiciones orbitales 77° O Y 127° O son:

Ciudad	Latitud grados	Longitud grados	77° O	127° O
Tijuana BCN.	32.58	117.15	32.79°	50.61°
Matamoros. Tamps	26.2	95.2	53.25°	43.37°
Chihuahua Ch.	28.6	106	43.91°	49.4°
Monterrey N.L.	25.8	100.3	50.22°	47.7°
Guadalajara Jal	20.6	103.21	51.74°	53.8°
Cd de México D.F	19.35	99	56.19°	50.94°
Cancún Q.Roo	22.8	89	60°	39.92°
Tapachula Chis.	14.6	92.2	65.43°	46.66°

Tabla 4.4 Ángulos de elevación de las ciudades de mayor importancia y las del extremo de la cobertura

Las posiciones propuestas presentan ángulos de elevación, aún 10° mayores a los de las ciudades al norte de los Estados Unidos. Los ángulos mínimos son para Tijuana 32.79° (77° O) Y Cancún con 39.92° O (127° O).

4.2.1 ANALISIS DEL MERCADO Y CONSIDERACIONES COMERCIALES

Los sistemas de radio difusión de audio digital por satélite DARS (Digital Audio Radio Services) permiten transmitir 100 canales de voz y música, o más, a radio escuchas en sus automóviles o casas, o bien en radios portátiles. WorldSpace, Sirius Satellite Radio y XM Radio son las únicas compañías que proporcionan este tipo de servicios en el mundo.

Se proyecta que los ingresos globales por el servicio de DARS se incrementen gradualmente con un crecimiento anual importante hasta alcanzar 15,500 millones de dólares de ingresos en el 2009, divididos en 7,600 millones en el mercado de Estados Unidos y 7,900 millones en el resto del mundo.

Sirius Satellite Radio y XM Radio han formulado sus planes de negocio con respecto al mercado de Estados sobre el que tienen cobertura solamente. Como parte de sus planes de negocio darán a conocer sus servicios a los usuarios potenciales y educar a los consumidores de DARS, estimulando así la demanda del servicio. Cada compañía planea gastar en campañas de mercadotecnia entre 80 y 110 millones en anuncios a través de Televisión por cable, Radio, Internet, impresiones y carteleras.

En los Estados Unidos de Norteamérica a partir de 2001 las compañías XM Radio y Sirius Satellite Radio comenzarán a proporcionar este tipo de servicios por satélite, formando un duopolio. En la tabla se indica el valor de cada una.

Compañías DARS		
Compañía	Símbolo	Valor en millones de dólares
Sirius Satellite Radio	SIRI	2,275.3
XM Radio	XMSR	1,220.8

Tabla 4.5 Compañías DARS

Consideraciones comerciales.

Para el estudio de viabilidad comercial se debe tomar en cuenta el costo del sistema, el pago por licencias de operación orbital y espectro, el potencial del mercado y trámites regulatorios en la cobertura propuesta. El esquema operativo de un solo satélite tiene ventajas en los costos de implementación del sistema y en la reducción de riesgos, si técnicamente cumple con niveles aceptables de confiabilidad.

Número de automóviles.

En cuanto a números de automóviles (incluyendo pick-ups y vans), en México se cuenta con 13 millones de unidades; a diferencia del mercado norteamericano de 200 millones de unidades, de las cuales para el mercado de Estados Unidos 40 ó 50 millones circulan en áreas de pobre cobertura de sistemas de radio convencional.

Un factor de importancia es el crecimiento y el reemplazo del número de automotores. El porcentaje de crecimiento en México rebasa al de Estados Unidos. Para el año 2000 se tuvo un número de 830,000 unidades nuevas vendidas en México con un estimado de 950,000 para el presente año. El número de unidades nuevas vendidas en Estados Unidos el año pasado es de aproximadamente 17,000,000.

Se deberá considerar además el mercado de autobuses y transporte de carga, lo mismo que el mercado potencial de casas habitación.

La expectativa de crecimiento en el mercado norteamericano es de 1.8 millones de subscriptores para finales de 2002. La penetración se estima en un 8.22% del número de vehículos registrados para el año 2005 (aproximadamente 242 millones de unidades), lo que da un número de usuarios de 19.9 millones en ese año.

Para el mercado de estados Unidos se ha estimado una penetración conservadora de! Número de subscriptores, menor a la de otros servicios comparativos como el de DBS, reproductores de CD y teléfonos celulares, como se indica.

Comparación con otros nuevos productos	1º er año	2º año	3 er año	4º to año	5º to año
Penetración de DARS	0.16%	1.43%	3.11%	5.45%	8.22%
Transmisión directa Satelital (DBS)	0.9%	2.4%	4.5%	7.0%	9.8%
Reproductor de CD	3.2%	8.2%	12.9%	15.1%	10.9%
Celular	1.5%	2.9%	4.5%	7.3%	10.7%

Tabla 4.6

El proyecto en Estados Unidos igualará ingresos contra gastos a partir del 2004 con 4.5 millones de subscriptores como mínimo, con una renta mensual de \$10 dólares, equivalentes a \$540 MD al año. En realidad se espera que esta cantidad de usuarios

aumente lo que permitirá amortizar la inversión en un periodo más corto y contar con dividendos.

Estimado de ingresos en México.

Es importante considerar que el periodo de vida del satélite es de 15 años, teniéndose el mayor volumen de inversión en los primeros años del sistema y posteriormente costos fijos de mantenimiento y operación pudiendo extrapolar el número de suscriptores.

Es de relevancia considerar el nivel de ingresos de la economía norteamericana contra la de México, indicándose que a pesar de esta diferencia el costo por litro de gasolina es más caro en México. Así mismo se deberá determinar el costo de la renta mensual, el que podría ser menor a \$10 dólares para el mercado mexicano.

Para el caso de México una base de 1.0 millón de subscriptores con un costo mensual de \$8.0 dólares significará un ingreso anual de \$ 96 millones de dólares, lo que con un crecimiento que iguale a 2 millones de usuarios en el 2004, duplicará el ingreso anual a \$ 192 millones de dólares por año. Dependiendo del capital necesario de inversión para el sistema en México y considerando el avance económico del país en los próximos años, los ahorros en la inversión

Al no desarrollar tecnología, o complejos planes de mercadotecnia, y el no contar con competencia de un sistema similar como es el caso de Estados Unidos puede hacer económicamente viable el proyecto en un mediano plazo.

En ampliar la zona de cobertura significará ingresos adicionales al incrementar el número de suscriptores, lo cual estará sujeto a las aprobaciones regulatorias de cada país del área. Lo que pudiera considerarse de mediana dificultad.

Número de estaciones de radio en AM y FM.

El análisis deberá considerar el número de estaciones de radio convencional en AM y FM establecidas en las zonas de importancia económica. Teniéndose que el número máximo de estaciones en ambas bandas en una zona geográfica determinada es de aproximadamente 50 estaciones contra 100 estaciones que podría transmitir el sistema por satélite.

Por otro lado, se indica en las tablas de abajo el número de radio receptores y de estaciones radiotransmisoras en AM y FM y las relación que guardan con respecto a Estados Unidos.

Numero de estaciones	1999 México	1999 E.U	Relación EU/ México
AM Amplitud modulada	865	5,000	5.78
FM frecuencia modulada	500	5,000	10.0

Tabla 4.7

Numero de aparatos	1997 México	1997 E.U	Relación EU/ México
Numero de radio receptores	31 millones	575 millones	18.41

Tabla 4.8

Respecto a los números y relaciones de comparación anteriores se debe considerar el número de habitantes y el área geográfica de los dos países. Se tomaron para las relaciones de Población los valores estimados a julio 2000, para ambos países.

Relación de población = E.U. / México = 275, 562,673 / 100, 349,766 = 2.74

Relación de área geográfica = E.U. / México = 9,629,091 km² / 1,972,550 km² = 4.88

Para este tipo de relaciones cuenta por supuesto el nivel de ingreso por habitante y el desarrollo sostenido de un país, por lo que podría concluir parcialmente que el mercado mexicano se encuentra con carencia de infraestructura de radio transmisores en ambas bandas convencionales de AM y FM, mostrando una oportunidad para la incursión de los sistemas de radio por satélite como parte del desarrollo sostenido del país en los próximos 10 a 15 años.

Tendencias a escuchar radio: En promedio los adultos escuchan radio 3.2 horas por día, la cantidad de radio escuchas se divide en grupos por genero y edad. Alrededor de 75% de toda la población estadounidense a la edad de 12 años y mayores escuchan radio diariamente, y alrededor del 95% lo escuchan semanalmente. El 69% de los consumidores escogen la radio como el formato más escuchado en el automóvil en comparación a un 15% del número de consumidores que escuchan cassettes y un 9% CD's.

Tendencias a la venta de radio receptores: En 1999 las compañías fabricantes de radio receptores, vendieron cerca de 29 millones de equipos originales para radios integrados de fabrica en automóviles y 11 millones de radios para venta en el mercado. Basado en esta estadística se puede decir que un millón de suscriptores del servicio de DARS representarán menos del 3.5% de ambos mercados, los que generarán aproximadamente \$120 millones de dólares anuales por cobro del servicio mensual.

Comparación de Negocio	Sirius Satellite Radio	XM Radio
Cobertura Programación Tarifa de suscripción	Continental en EU Música, noticias y platicas \$9.95 dólares por mes	Continental en EU Música, noticias y platicas \$9.95 dólares por mes
Diferencias		
Tarifa mensual Red terrestre de repetidores Satélites	\$12.96 dólares 56 áreas, 110 sitios 3 Loral FS-1300s (8Kw) 1 en tierra	\$9.95 dólares \$9.95 dólares 2 Huges702s (15Kw) 1 en tierra
Costo inicial del sistema	\$890 millones de dólares	\$852 millones de dólares

Tabla 4.9 Comparativa entre los sistemas Sirius y XM Radio

4.2.2 CONFIGURACION DE CARGA UTIL COMPARTIDA DARS BANDA-L

Respecto a la opción para el reemplazo de la capacidad en banda L con un satélite híbrido con Banda L y DARS. Para la aplicación de radio digital sería necesario contar con 1 ó 2 satélites en las posiciones orbitales 77° O Y 127° O requiriendo además de transmisores de relleno en las grandes ciudades en caso de bloqueo de ambos satélites.

El rango de las posiciones orbitales posibles considerado es de 77° O a 127° O considerando que la posición de una carga útil en banda L estaría sujeta a negociación con los operadores de banda L y que la posición de DARS puede ser negociada con Estados Unidos; ambas en una base de no-interferencia ni afectación de los servicios.

Cobertura de Banda L Regional.

La carga útil en banda L deberá contar con potencia y tamaño de antena adecuado; para mejorar la cobertura y capacidad actual y permitir el uso de terminales de tamaño celular, tipo Laptop o Palm, compatibles con las tecnologías en banda L actuales y futuras para reducir costos por el desarrollo tecnológico y aprovechar economías de escala.

Sistema con dos satélites.

La opción de dos satélites representa un costo mayor. En el caso de integrar una carga compartida en uno de ellos en Banda L se tendrían diseños diferentes entre ambos; incrementando el nivel de inversión necesario y estando sujeta la banda L a los requerimientos de potencia ya establecidos.

Sistema con un solo satélite.

La opción de banda compartida en un sólo satélite; en una posición adecuada para la cobertura de México optimiza el valor de la inversión. Esta opción considera una capacidad de potencia de los satélites más grandes.

La configuración compartida con banda L, además de los incrementos inherentes en costo; deberá cumplir con los requerimientos de la banda L para servicios de transmisión de datos de alta velocidad y receptores de tamaño handheld o portátil.

El requisito de diámetro de antena corresponde a un rango de 9m (similar a Inmarsat 4) a 12m (Thuraya), para permitir un nivel adecuado de recepción de potencia en los receptores y para contar con una capacidad de 6 a 35 haces puntuales en la cobertura sobre México la que pudiera ser incluyente hasta Panamá, a efecto de rehusar el espectro asignado. Un diámetro menor impedirá la operación de las nuevas terminales de usuario y reducirá el número de haces puntuales con la penalidad en, el rehusó de espectro.

Una capacidad limitada en banda L, podría permitir la continuidad de los sistemas actuales de voz y datos, la salida gradual de la tecnología MSAT y el afianzamiento de las tecnologías de transmisión de datos de baja velocidad como el Estándar C, siendo cuestionable si cubre con los requerimientos operativos de las terminales de nueva generación con menor tamaño, peso y costo.

La coincidencia en los esquemas de Thuraya, ACes o Inmarsat 4 son viables si se mantienen los mismos protocolos de operación en el satélite, Centro de Comunicaciones y terminales de usuario, para lo cual se deberá contar con la aprobación de uso de tecnología derechos y patentes correspondientes.

Esta posible plataforma DARS, requeriría desarrollarse con un esquema de participación de la inversión privada incluyendo los servicios de banda L y de radiodifusión vía satélite.

Posición orbital.

La posición 77° O para la banda L presenta el inconveniente del ángulo de elevación para la parte noroeste del país en la que los ángulos de elevación van de 33 a 45 grados teniéndose un valor de 56° para la ciudad de México y para la ciudad de Mérida de 62° lo cual a comparación con el Solidaridad 2 presenta desventajas. Sin embargo este inconveniente ya fue considerado para el satélite Thuraya en que se prestará servicio en áreas geográficas con una diferencia de hasta 64 grados (noroeste de África 20° W, Thuraya 44° E). Teniéndose para el caso de la posición orbital 77° W con respecto al extremo Noroeste del país una diferencia de 40 grados, en latitudes similares (33° -35° N).

Ciudad	Tijuana	Cd. de México	Mérida
Posición orbital	32.4N-117 W	19.4N-99.2 W	20.6N-89.4 W
77° O	33° O	56°	62°
127° O	50.7°	51.1°	25°.9
113° O	51.3°	52.5°	53.9°

Tabla 4.10 Posición Orbital

Potencia del satélite.

Se tiene un requerimiento de potencia de 7.5 Kw para 2 portadoras de acuerdo al plan de frecuencias en Banda S DARS (100 canales de audio), dentro de los límites de un satélite B60I HP con capacidad de hasta 8 Kw de carga útil (SATMEX 5 7,554 watts).

La combinación Banda L - DARS solamente pudiera proveerse en un satélite del modelo B-702, con capacidad de potencia para cargas útiles de 13.5 Kw dejando aproximadamente 6 Kw disponibles para Banda L, con lo que se podría tener cobertura regional con la potencia apropiada.

Las dificultades para la prestación del servicio en banda L considerando la opción de reemplazo en un satélite híbrido en la posición 77° O serán:

- Disposición de antenas en el satélite (banda L de 9 a 12 m.) y las antenas de DARS.
- Disponibilidad de rehuso de frecuencias, ya que por la forma de nuestro país y el escaso espectro asignado, no será posible contar con un número suficiente de haces puntuales y portadoras considerando las nuevas tecnologías de transmisión de datos de hasta 385 Kbps.

La ventaja de los haces puntuales estribará en el rehuso interno y en la distribución de frecuencias adicionales para aplicaciones semifijas, sujetas al proceso de coordinación de frecuencias, las que será posible rehusar entre satélites de sistemas diferentes.

En banda L no se cuenta con espectro adicional a los 34 Mhz (33 útiles) y que la nueva generación Inmarsat 4 prestará servicios de transmisión de datos a terminales tipo Laptop de hasta 385 Kbps, lo que dificultará los procesos futuros de coordinación

4.2.3 CAPACIDAD ESPECTRO REQUERIDO Y POTENCIA DEL SATÉLITE.

Capacidad.

La capacidad de espectro o ancho de banda se deriva de los requerimientos de transmisión de información. Si se considera proporcionar un servicio de 100 canales de audio, 50 con calidad CD de 64 Kbps por canal y 50 canales de voz de 24 Kbps por canal. Se tiene que el ancho de banda requerido de la señal, compuesta es de:

50 canales CD	50 X 64 Kbps = 3.2 Mbps
50 canales voz	50 X 24 Kbps = 1.2Mbps
Suma	4.4 Mbps
Otros servicios de datos:	0.25 Mbps
Total:	4.65 Mbps

Tabla 4.11

Cualquier otra combinación disminuirá o aumentará este requerimiento, el cual pudiera transmitirse en una portadora de ancho de banda satelital de 4.5 Mhz.

La capacidad por canal de 4.5 Mhz de ancho de banda en Mbps se obtiene de acuerdo:

Tasa de símbolos	$4.5/1.2$ (factor de exceso) = 3.75 Mbps
Tasa de modulación QPSK	$3.75 (2) = 7.5$ Mbps
Códigos de corrección	2/3 Viterbi, 120/128 Reed Solomon
Tasa de Información por canal	$(7.5)(2/3) (120/128) = 4.687$ MBS

Tabla 4.12

Por lo que una tasa de 4.687 Mbps en una portadora al satélite de 4.5 MHz permite la transmisión de 50 canales de audio con casi calidad CD y 50 canales con calidad de voz. **Espectro.**

Para implementar un sistema de Radiodifusión de audio por satélite, México cuenta con 25 Mhz de espectro coordinados con los sistemas DARS de los Estados Unidos de Norteamérica: XM Radio y Sirius Satellite Radio. Pudiendo implementar un sistema de uno o dos satélites en ambas partes del espectro.

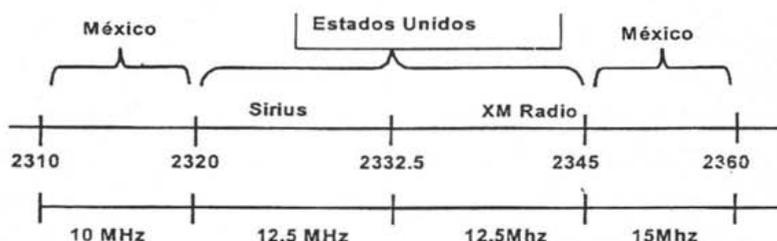


Figura 4.4 Espectro DARS.

Una propuesta de configuración de un sistema DARS operativo de dos satélites, es la siguiente:

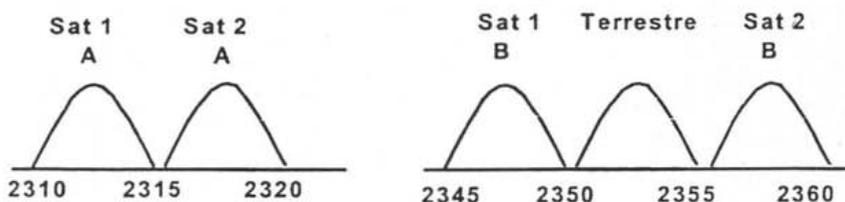


Figura 4.5 Configuración con dos Satélites

El espectro en la parte baja de 10Mhz permite dos portadoras de 4.5 MHz en cada satélite, una misma señal en tiempo $t = 0$ (A) en ambos satélites y en la parte alta permite las mismas dos portadoras desfasadas un cierto intervalo de tiempo $t = 0 + \text{retardo}$ (B), más la portadora para los repetidores terrestres.

Para el caso de un solo satélite se puede considerar el segundo rango de espectro de 15 MHz continuos, pudiéndose tener tres portadoras de 4.5 Mhz de ancho de banda, dos para el segmento satelital, una señal en tiempo $t = 0$ (A) Y una réplica en $t = 0 + \text{retardo}$ (B) y una más para el segmento terrestre.

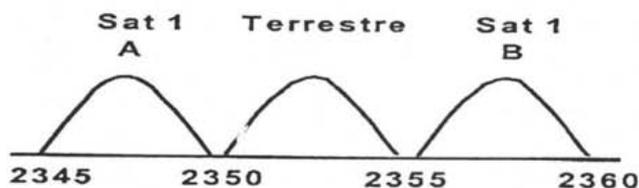


Figura 4.6 Con este esquema se podrá transmitir en el satélite 100 canales de audio en 4.5Mhz, más la señal desfasada en tiempo.

4.2.4 POTENCIA DEL SATÉLITE

Para un arreglo determinado de dos portadoras con un ancho de banda de 4.5 MHz, la potencia del satélite se deriva del análisis de enlace, de acuerdo a las pérdidas en el enlace (espacio libre, satélite, etcétera), ganancia de antena del satélite y de el radio receptores, el margen de operación; determinando la potencia requerida por portadora.

Si consideramos los siguientes parámetros como:

Pire por portadora	64.6dBW
Margen	10 dB
G/T receptor	-20 dB/K
Eb /No	5.2dB

Entonces la potencia total de DC de carga útil y la potencia total requerida del satélite:

POTENCIA DEL SATELITE	
Pire (por portadora)	64.6dBW
Ganancia antena (EOC)	32.4 dB
Perdidas de salida	1.0 dB
Potencia amplificada	$(64.6+1 - 32.4)=33.2\text{dBW}$
Potencia por portadora en watts	=2.089
Eficiencia del amplificador	TWTA = 0.6
Potencia de D.C del amplificador	= 3.5 Kw
Potencia D.C (2 portadoras)	7.0 Kw
Potencia de DC de otros elementos de la carga útil	0.5Kw
Potencia total carga útil	7.5Kw
Potencia DC Bus	1.5Kw
Potencia Total satélite	9.0 Kw

Tabla 4.13 Característica del Satélite

Para el esquema propuesto se consideró el modelo de distribución de contenidos indicado. El ancho de banda de las portadoras y la potencia correspondiente pudiera incrementarse de acuerdo al número de canales a transmitir y a la calidad deseada para cada uno, es decir la relación del número de canales con calidad CD y el número de canales con calidad de voz.

Carga útil DARS

Del análisis anterior se tiene que para una carga útil DARS de 50 canales CD y 50 canales de voz - radio se requiere 7.5 KW y aproximadamente 9.0 Kw de potencia total del satélite al final de la vida operacional (EOL). Dicho requerimiento sólo es posible en un satélite grande, ya que un satélite mediano tiene un límite de 4500 watts de DC aproximadamente y una potencia de carga útil de 3.3 a 3.5Kw.

Satélite grande. Mayor a 7.5 Kw de potencia de DC para la carga útil. Potencia total generada fin de vida (EOL) mayor a 9.0 Kw. Un modelo posible de utilizar puede ser uno del tipo HS 601 HP, o similar con una potencia de carga útil de hasta 8000 watts. Este satélite puede transmitir las 2 portadoras de 4.5 Mbps.

Satélite Grande de alta capacidad:

Tipo HS702, hasta 13,500 watts de potencia para cargas útiles. Permite 2 portadoras de DARS (7.5 Kw), más una carga útil en C, Ku, C extendida, Ku extendida o Ka, dejando aproximadamente 6 Kw.

El combinar bandas, reduce capacidades de potencia eléctrica, volumen y espacios disponibles para cualquier modelo de satélite, debido al incremento en hardware de unidades no comunes, espacio para antenas de diferentes bandas, el incremento de unidades a energizar, etcétera.

CAPITULO V

PROPUESTA DE IMPLEMENTACION EN MEXICO

En este capítulo se da una breve explicación de cómo se podría dar una demostración del sistema Eureka-147 para el valle de México junto con autoridades del gobierno. Una vez observado el comportamiento del equipo se haría un análisis, dando pie a la futura implementación en México.

Digital Audio Broadcasting (DAB) es el método digital de transmitir señales de audio con calidad de CD a los receptores.

5.1 ESTUDIOS PREVIOS DE DISEÑO

Características principales de Eureka 147-DAB

- Calidad de sonido equivalente al disco compact
- Eliminación del molesto multitrayectoria (multipath)
- Banda ancha: 6 canales estereo en 1.5Mhz.
- Baja potencia - alto rendimiento; economía en su operación
- Rellenadores de sombras de muy baja potencia, operando en la misma frecuencia (gap filler)

La radio digital ofrecerá mejor recepción y una superior calidad de sonido para los oyentes de México lo que vendrá acompañado con la entrega de un servicio de datos, que serán visualizados en una pantalla de cristal líquido ubicada en el receptor, y llevarán al usuario informaciones adicionales sobre la música que está escuchando, como ser títulos, intérpretes, nombre del CD, noticias, además de estos servicios ofrece otros como los siguientes:

Información de tráfico

Puede ser un servicio gratuito o de pago (probablemente PRE-pago). El contenido de la información puede ser de varios tipos: nacional, internacional, urbano, interurbano, proporcionando tiempos de viaje, estado del tráfico, restricciones, etc. También se incluye dentro de este servicio la información meteorológica relativa al tráfico, pero no la información meteorológica general, la cual formaría parte de un servicio distinto.

Este servicio debe ser independiente del idioma y para la localización de los eventos es necesario un mecanismo de referenciación de localizaciones. Permite la posibilidad del uso del GSM para solicitar información o para informar sobre cambios del estado del tráfico en el lugar por el que circula el usuario. También se pueden contemplar soluciones más sofisticadas con el uso de GPS, mapas digitales y sistemas de navegación.

Descarga de software

Como su nombre indica, este servicio proporciona software a través de DAB. Esto puede utilizarse, por ejemplo, para actualizar aplicaciones instaladas en receptores. La descarga puede realizarse automáticamente al sintonizar un canal determinado o previa petición del usuario. Esta aplicación impone la necesidad de un receptor con características

especiales, más inteligente por decirlo de algún modo, puesto que debe saber cuando es necesaria una actualización de software y de qué tipo.

Implementación de mecanismos de pago

No es en sí mismo un servicio sino una funcionalidad. La creación de toda la variedad de servicios que se han comentado requerirá la implantación de mecanismos de pago dentro de un modelo comercial para todas estas aplicaciones. Dependiendo de los servicios ofrecidos y los medios de transmisión, varias modalidades de pago serán posibles, suscripción, dinero electrónico, etc..

Transmisión de mapas digitales

El propósito de este servicio es transmitir mapas de áreas concretas para sistemas de navegación. También existe la posibilidad de transmitir actualizaciones de mapas a sistemas de navegación para evitar nuevas distribuciones de CD-ROMS, aunque esta idea supone muchos requisitos para los receptores (principalmente respecto a sistemas de almacenamiento de información).

Otra alternativa es la utilización de la comunicación bidireccional (con GSM) para solicitar el mapa digital de un proveedor en particular, creando así un servicio personalizado que puede ofrecer también la posibilidad de elegir una zona concreta, un tipo de información específico, etc.

Finalmente, cabe también comentar que la transmisión de mapas digitales requiere mucha capacidad de transmisión y, dependiendo de los casos, podría no ser factible la utilización del DAB salvo que se dedicase un canal exclusivamente a ello

Transmisión de páginas web con información de tráfico y al viajero

Es otra opción que tiene el proveedor de servicio para transmitir información de tráfico y al viajero. Ya existen páginas específicamente dedicadas a este tipo de información utilizando todas ellas el formato HTML de Internet, por lo que, en principio, solamente habría que resolver el tema del formato de transmisión de la información a través de DAB. También hay, sin embargo, otros temas que deben ser discutidos como la presentación al usuario, las posibilidades de navegación por el web, "applets & plug-ins", etc., elementos todos ellos que incrementarían la complejidad del terminal del usuario.

Selección de Ubicación (del transmisor)

La ubicación óptima del sistema radiador a utilizar podría ser el cerro del chiquihuite ubicado al norte de la ciudad de México con una altura de 540 metros sobre el nivel del terreno promedio de la ciudad de México las emisiones se orientan hacia la zona con mas edificaciones y en las que se tiene el movimiento ciudadano más complejo, pasos a desnivel, edificaciones, tráfico, árboles, fabricas, etc. Se utiliza cualquier canal dentro de la Banda L de frecuencias, la cual fue atribuida mundialmente en la conferencia administrativa mundial de radiocomunicaciones (CARM-92) que se efectuó en febrero de 1992 en Málaga Torremolinos, España. Que corresponde de 1452 a 1492 Mhz para el servicio de radiodifusión sonora digital por satélite con el servicio complementario terrestre. Actualmente la CD. de México cuenta con 58 estaciones que son las siguientes:

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Capítulo V "Propuesta de Implementación en México"

Ubicación	Notas	Concesionario/ Permisionario	Distintivo	Frecuencia Khz.	Potencia Kw.	
					Diurna	Noct.
CD. DE MÉXICO	**	LA B GRANDE, S.A.	XEAI-AM	1470	50.000	5.000
CD. DE MÉXICO	**	INSTITUTO MEXICANO DE LA RADIO	XEB-AM	1220	100.000	100.000
CD. DE MÉXICO	**	HISPANO MEXICANO, S.A. DE C.V.	XEBS-AM	1410	25.000	10.000
CD. DE MÉXICO	**	EMISORA 1150, S.A. DE C.V.	XECMQ-AM	1150	20.000	10.000
CD. DE MÉXICO	**	PUBLICIDAD COMERCIAL DE MEXICO, S.A. DE C.V.	XECO-AM	1380	50.000	5.000
CD. DE MÉXICO	**	PUBLICISTAS, S.A.	XEDA-AM	1290	10.000	1.000
CD. DE MÉXICO	**	RADIO ORO, S.A.	XEDF-AM	1500	50.000	5.000
CD. DE MÉXICO	**	INSTITUTO MEXICANO DE LA RADIO	XEDTL-AM	660	50.000	1.000
CD. DE MÉXICO		SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA	XEEP-AM	1060	100.000	20.000
CD. DE MÉXICO	**	XEEST, S.A. DE C.V.	XEEST-AM	1440	25.000	1.000
CD. DE MÉXICO	**	RADIO INTEGRAL, S.A. DE C.V.	XEFR-AM	1180	10.000	5.000
CD. DE MÉXICO	**	IMAGEN TELECOMUNICACIONE S, S.A. DE C.V.	XEITE-AM	830	10.000	5.000
CD. DE MÉXICO	**	EMISORA 1320, S.A. DE C.V.	XEJP-AM	1320	20.000	20.000
CD. DE MÉXICO	**	RADIO INTEGRAL, S.A. DE C.V.	XEL-AM	1260	20.000	10.000
CD. DE MÉXICO	**	INSTITUTO MEXICANO DE LA RADIO	XEMP-AM	710	10.000	1.000
CD. DE MÉXICO	**	RADIO SISTEMA MEXICANO, S.A.	XEN-AM	690	50.000	5.000
CD. DE MÉXICO	**	RADIO CHAPULTEPEC, S.A. DE C.V.	XEOC-AM	560	0.750	0.500
CD. DE MÉXICO	**	FOMENTO DE RADIO, S.A. DE C.V.	XEOY-AM	1000	50.00	20.000
CD. DE MÉXICO	**	COMPANIA MEXICANA DE RADIODIFUSION, S.A. DE C.V.	XEPH-AM	590	25.000	10.000
CD. DE MÉXICO	**	CADENA RADIODIFUSORA MEXICANA, S.A. DE C.V.	XEQ-AM	940	50.000	50.000
CD. DE MÉXICO	**	HORA EXACTA, S.A.	XEQK-AM	1350	5.000	1.000

Tabla 5.1 Infraestructura de Estaciones de Radio AM

Capítulo V "Propuesta de Implementación en México"

Ubicación	Notas	Concesionario/ Permisionario	Distintivo	Frecuencia Khz.	Potencia Kw.	
					Díama	Noct.
CD. DE MÉXICO	**	XEQR, S.A. DE C.V	XEQR-AM	1030	50.000	5.000
CD. DE MÉXICO	**	XERC, S.A. DE C.V.	XERC-AM	790	50.000	1.000
CD. DE MEXICO.	**	RADIO UNO, S.A.	XEFR-AM	970	50.000	4.000
CD. DE MEXICO.		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	XEUN-AM	860	45.000	10.000
CD. DE MEXICO.	**	RADIO UNION TEXCOCO, S.A. DE C.V.	XEUR-AM	1530	50.000	1.000
CD. DE MEXICO.	**	RADIO PUBLICIDAD LATINO AMERICANA, S.A. DE C.V.	XEVOZ-AM	1590	20.000	10.000
CD. DE MEXICO.	**	CADENA RADIODIFUSORA MEXICANA, S.A. DE C.V.	XEW-AM	900	250.000	250.000
CD. DE MEXICO.	**	CADENA RADIODIFUSORA MEXICANA, S.A. DE C.V.	XEX-AM	730	100.000	100.000

Tabla 5.2 Infraestructura de Estaciones de Radio AM(continuación)

Ubicación	Notas	Concesionario/ Permisionario	Distintivo	Frecuencia Khz.	P. R. A. Kw.
CD. DE MÉXICO		INSTITUTO MEXICANO DE LA RADIO	XHOF-FM	105.7	36.080
CD. DE MÉXICO	**	RADIO INTEGRAL, S.A. DE C. V.	XHPOP-FM	99.3	62.900
CD. DE MÉXICO	**	RADIO RED FM, S.A. DE C.V.	XHRED-FM	88.1	95.128
CD. DE MÉXICO	**	RADIO INTEGRAL, S.A. DE C.V.	XHSH-FM	95.3	100.000
CD. DE MÉXICO	**	TELEVIDEO, S.A. DE C.V.	XHSON-FM	100.9	100.000
CD. DE MÉXICO		UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA	XHUIA-FM	90.9	3.000
CD. DE MÉXICO	**	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y	XHUPC-FM	95.7	0.100

Tabla 5.3 Infraestructura de Estaciones de Radio FM

Capítulo V "Propuesta de Implementación en México"

Ubicación	Notas	Concesionario/ Permisionario	Distintivo	Frecuencia Khz.	P. R. A. Kw.
CD. DE MÉXICO	**	IMAGEN TELECOMUNICACIONES S. S.A. DE C.V.	XEDA-FM	90.5	100.000
CD. DE MÉXICO	**	RADIO UNO FM, S.A.	XEDF-FM	104.1	58.130
CD. DE MÉXICO	**	XEJP-FM, S.A. DE C.V.	XEJP-FM	93.7	60.480
CD. DE MÉXICO	**	RADIO PROYECCION, S.A. DE C.V.	XEOYE-FM	89.7	100.000
CD. DE MÉXICO	**	CADENA RADIODIFUSORA MEXICANA, S.A. DE C.V.	XEQ-FM	92.9	79.070
CD. DE MÉXICO	**	XEQR-FM, S.A. DE C.V.	XEQR-FM	107.3	92.320
CD. DE MÉXICO	**	XERC-FM, S.A. DE C.V.	XERC-FM	97.7	99.710
CD. DE MÉXICO	**	LA B GRANDE FM, S.A.	XERFR-FM	103.3	58.130
CD. DE MÉXICO		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	XEUN-FM	96.1	100.000
CD. DE MÉXICO	**	CADENA RADIODIFUSORA MEXICANA, S.A. DE C.V.	XEW-FM	96.9	51.190
CD. DE MÉXICO	**	CADENA RADIODIFUSORA MEXICANA, S.A. DE C.V.	XEX-FM	101.7	51.190
CD. DE MÉXICO	**	RADIO INTEGRAL, S.A. DE C.V.	XHDFM-FM	106.5	62.780
CD. DE MÉXICO	**	IMAGEN TELECOMUNICACIONES S. S.A. DE C.V.	XHDL-FM	98.5	100.000
CD. DE MÉXICO	**	STEREOREY MEXICO, S.A.	XHEXA-FM	104.9	89.400
CD. DE MÉXICO	**	ESTACION ALFA, S.A. DE C.V.	XHFAJ-FM	91.3	99.450
CD. DE MÉXICO	**	XHFO-FM, S.A. DE C.V.	XHFO-FM	92.1	146.350
CD. DE MÉXICO		INSTITUTO MEXICANO DE LA RADIO	XHIMER-FM	94.5	100.000
CD. DE MÉXICO		INSTITUTO MEXICANO DE LA RADIO 0	XHIMR-FM	107.9	10.00
CD. DE MÉXICO	**	RADIO INTEGRAL, S.A. DE C.V.	XHM-FM	88.9	76.850
CD. DE MÉXICO	**	RADIO XHMM-FM, S.A. DE C.V.	XHMM-FM	100.1	80.000
CD. DE MÉXICO	**	STEREOREY MEXICO, S.A.	XHMVS-FM	102.5	80.100

Tabla 5.4 Infraestructura de Estaciones de Radio FM(continuación)

NOTAS:

- * EN PROCESO DE INSTALACION
- ** CONCESIONES
- N. D. NO DETERMINADA
- R EN PROCESO DELIBERATIVO DE REFRENDO
- P. J. PROCESO JUDICIAL

CONFORME A LO ESTABLECIDO EN LA LEY FEDERAL DE RADIO Y TELEVISIÓN:
Las concesiones y permisos de radio y televisión son otorgados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
El objeto de las concesiones es el de operar y explotar estaciones de radio con fines comerciales.
El objeto de los permisos es el de operar estaciones de radio con fines culturales o de otra índole, sin incluir fines comerciales.
El procedimiento para el otorgamiento de concesiones es el establecido en los artículos 17 al 19 de la Ley Federal de Radio y Televisión.
A partir del 11 de octubre de 2002, el procedimiento para el otorgamiento de permisos sigue lo establecido en el artículo 12 del Reglamento de la Ley Federal de Radio y Televisión en materia de concesiones, permisos y contenido de las transmisiones de radio y televisión. Los anteriores se resolvieron a solicitud de parte.

Si tenemos en cuenta que nuestro ancho de banda en la banda L es 40Mhz y que un canal de 1.5Mhz es el equivalente a 6 estaciones, encontramos que dentro la banda L Se tienen 23 canales de 1.5Mhz proporcionándonos 138 estaciones. Actualmente hay concesionarios que tienen mas de 3 estaciones donde ocuparían un solo canal es el caso de grupo Radio Centro que cuenta con las siguientes estaciones en FM con, Red FM , Alfa Radio, Universal Stereo, Stereo Joya, 97.7 y La Z en AM cuenta con La 69, Formato 21, Radio Centro, Red AM, y el Fonógrafo en este caso se ocuparían dos canales tenemos entonces que la radiodifusión en banda L con tecnología DAB satisface las estaciones del Valle de México para dar un servicio de alta calidad con la tecnología Eureka-147.

DISTRIBUCION DE LA BANDA L

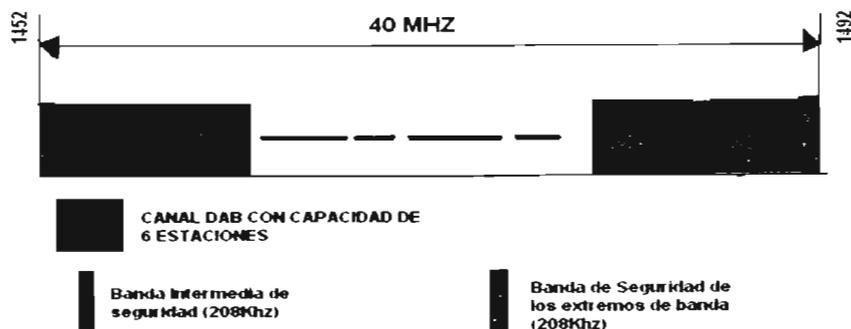


Figura 5.1 Distribución de la banda L

DISTRIBUCIÓN DEL CANAL DAB

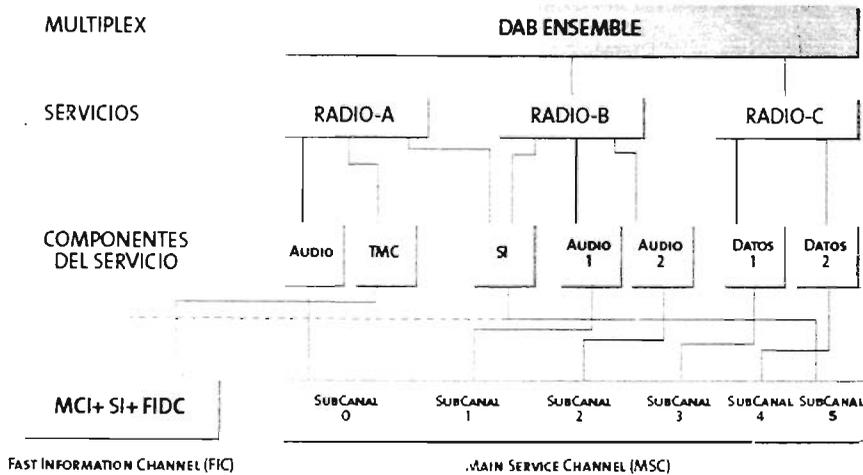


Figura 5.2 Ejemplo de distribución del canal DAB

DESCRIPCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DEL CANAL DAB

1.-El canal FIC

El FIC (*Fast Information Channel*) es un canal de baja velocidad (4 kbit/s), el cual contiene información que puede ser adquirida de forma rápida por el receptor. Este canal incluye la información de configuración del múltiplex (MCI, *Multiplex Configuration Information*), que describe los diferentes canales o servicios (audio y datos) que se transportan en el canal principal o MSC.

Además, y de forma opcional, puede incluir Información de Servicio (SI) -que describe los diferentes contenidos emitidos (título, etc.), información de acceso condicional (CA) y varios servicios de datos de baja velocidad -que se transmiten en un subcanal denominado FIDC (*Fast Information Data Channel*) los cuales pueden ir o no encriptados.

2.-El canal MSC

El MSC (*Main Service Channel*) transporta los diferentes componentes de los servicios (audio y datos) en forma de subcanales multiplexados en tiempo.

3.-El canal FIDC

El FIDC (*Fast Information Data Channel*) es un canal de baja velocidad (menor de 4 kbit/s) que forma parte del FIC (*Fast Information Channel*).

Los servicios de datos que pueden ser recibidos en el FIDC incluyen:

- Mensajes de tráfico TMC (*Traffic Message Channel*).
- *Paging* para envío de mensajes cortos de texto a receptores portátiles.

En la **Figura 5.2** se describe un ejemplo de un múltiplex DAB, que contiene 3 servicios (los denominados RADIO-A, RADIO-B y RADIO-C) y los canales por los que se envían las diferentes componentes. El servicio RADIO-A se compone de:

- Un canal de audio, el cual se transporta en el subcanal 0 del MSC).
- Un canal de datos con mensajes de tráfico (TMC) que se transporta en el FIDC.
- Un canal de información de servicio (SI), que puede ir en el FIC o puede desplazarse al subcanal 5, que se denomina AIC (*Auxiliary Information Channel*), y que se usa como una extensión del FIDC, debido a la baja capacidad de este último.

El servicio RADIO-B consta de dos canales de audio, uno primario y otro secundario, que se transportan en los subcanales 1 y 2, y de la información de servicio SI.

Por último, el servicio RADIO-C sólo incluye aquellos componentes de datos que se transmiten en los subcanales 3 y 4.

La información de servicio, también denominada SI (*Service Information*) contiene aquellas descripciones de los servicios que están en emisión o que se van a emitir, tanto si éstos son de audio como de datos.

Dentro de la información de servicio se incluye: el identificador del programa (nombre y número), el tipo de programa, el idioma, la identificación del país, la fecha y hora, la información de programas en otros bloques (múltiplex), la información de los próximos programas.

5.1.1 ÁREA GEOGRÁFICA



Figura 5.3 Área a cubrir en Circulo nuestro Transmisor DAB

RELLENADOR DE SOMBRAS (Gap Filler)

Para cubrir sitios donde se corte la señal DAB o se tenga poca recepción a consecuencia de lugares de desnivel o túneles de la ciudad se colocarían rellenos de sombras de muy baja potencia operando con la misma frecuencia donde obtendríamos unos resultados satisfactorios. Para demostrar esta facilidad de colocar

rellenos de huecos se instalarían retransmisores de 0.25Watts con lo que se lograría una cobertura total del mismo.

5.1.2 TOPOGRAFÍA DEL ÁREA

Ruta de demostración

La ruta se definiría tomando en cuenta el lugar de reunión de los invitados en este caso junto a la torre de comunicaciones; Eje central / Lázaro Cárdenas; en ocasiones oficinas de la CIRT. Áreas que por su fisonomía, sus altos edificios, árboles (Chapultepec / Reforma) , etc se prestan para demostrar lo molesto de multipath.

El receptor estaría instalado en un autobús y utilizaría una antena DAB colocada en el toldo de esta para que los asistentes puedan escuchar el sistema DAB se colocaría una consola dentro del autobús distribuyéndose audífonos a los asistentes. Las demostraciones consistirán en la realización de recorridos con una duración aproximada de una hora partiendo de la torre de comunicaciones pasando por el eje central Lázaro Cárdenas, El Viaducto, Los PINOS, Paseo de la reforma, Av. Sevilla, La Av. Chapultepec y Av. Cuauhtemoc hasta la SCT. Se anexa plano de recorridos

RUTA DE DEMOSTRACION DE DAB

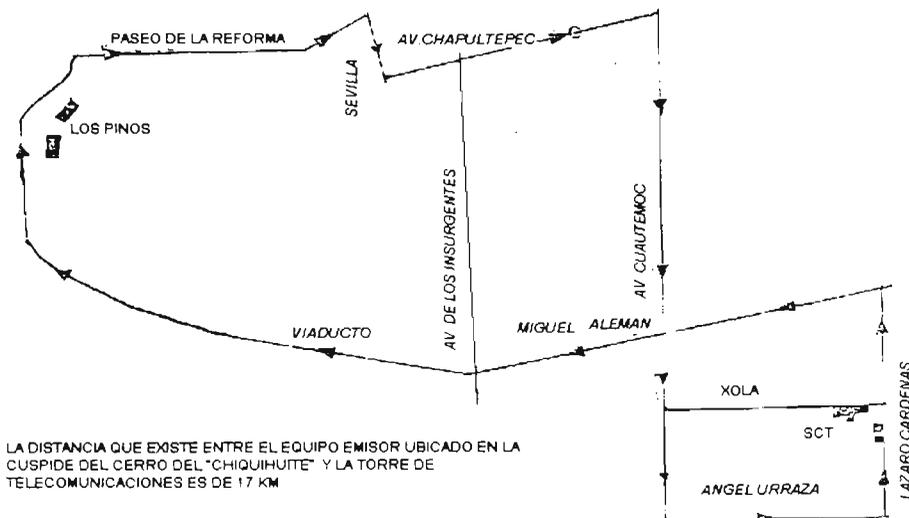


Figura 5.4 Ruta de Demostración

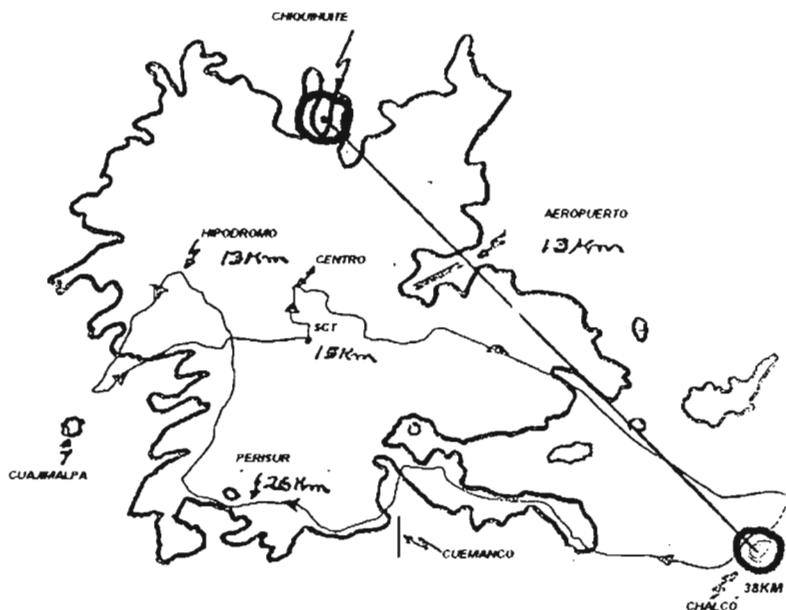


Figura 5.5 Alcance de la señal DAB

5.1.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS EXISTENTES

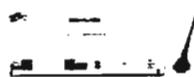
Equipo

- El equipo principal de transmisión podría ser un transmisor EUREKA 147-DAB de aproximadamente 200 Watts (para 6 canales Stereo en 1.5 Mhz) cuya característica de potencia aparente radiada es de 7.7Kw. que nos da un alcance hasta unos 40 Kilómetros que resulta satisfactorio para cubrir el valle de México. El equipo es óptimo siempre y cuando no se interpongan en la trayectoria de la señal grandes cerros y montañas.
- Para la recepción se cuenta con distintos receptores de diferentes marcas utilizando en este caso el de tercera generación (EUREKA-DAB). Abajo se muestran algunos equipos de recepción.

Pioneer



Pioneer GEX-P900DAB



Pioneer GEX-P900DAB-II

SONY



Sony XT - 100 DAB

KENWOOD



DAB Tuner KTC-959DAB

Kenwood launched the DAB Tuner KTC-959DAB in January 1999. The DAB Tuner was launched along with a range of head units. The DAB control head-units range from the top end CD, Cassette or MD receivers to mid range products with varying display types and sizes. The DAB Tuner costs approximately £1,099 (or £1,299 with head unit)

Figura 5.6 Equipos receptores

5.1.4 DISEÑO DE COBERTURA

El transmisor empleado incluye el uso de un convertidor de señal analógica digital que a su vez alimenta a un procesador-compresor digital de tecnología MUSICAM, pasando posteriormente al codificador de canal COFDM. La salida de este codificador alimenta un modulador de cuadratura que permite obtener la señal de audio digital como se transmitirá, este modulador alimenta un convertidor de subida que permite obtener la frecuencia de transmisión. La señal así lograda pasa a través de una red acopladores y filtros que eliminan las frecuencias indeseables.

Finalmente se llega al amplificador final de banda ancha, con 200 WATTS de potencia de salida para que a través de una línea de transmisión de tipo coaxial con dieléctrico de aire se alimente el sistema radiador que consiste de una antena de polarización vertical de alta ganancia, constituida por una arreglo de dipolos montados sobre un reflector de aluminio con una anchura de haz de 120 grados para caída de 3 decibeles en el ángulo de potencia media para obtener una máxima potencia radiada de 7.7Kw. *Se anexa diagrama de bloques del sistema de transmisión.*

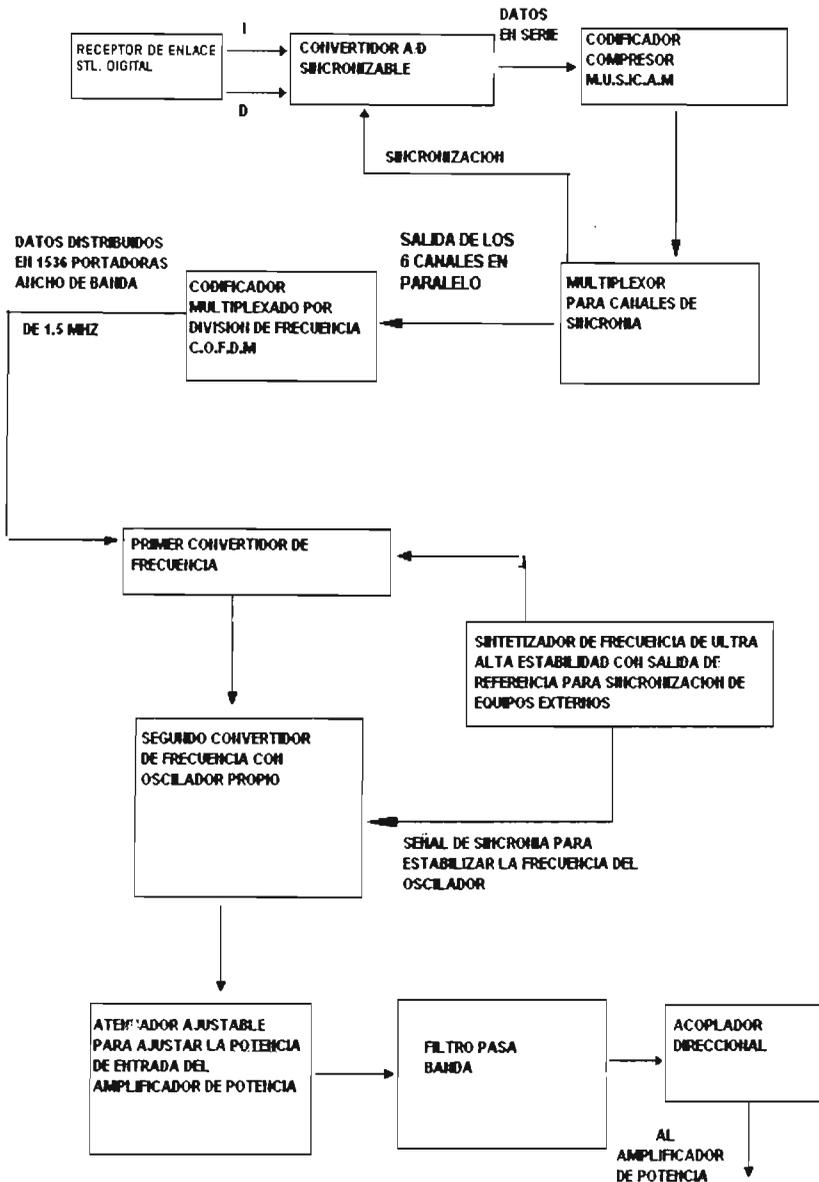


Figura 5.7 Diagrama a bloques del equipo a instalar en el cerro del chiquigüite empleando un equipo de tercera generación Eureka-147.

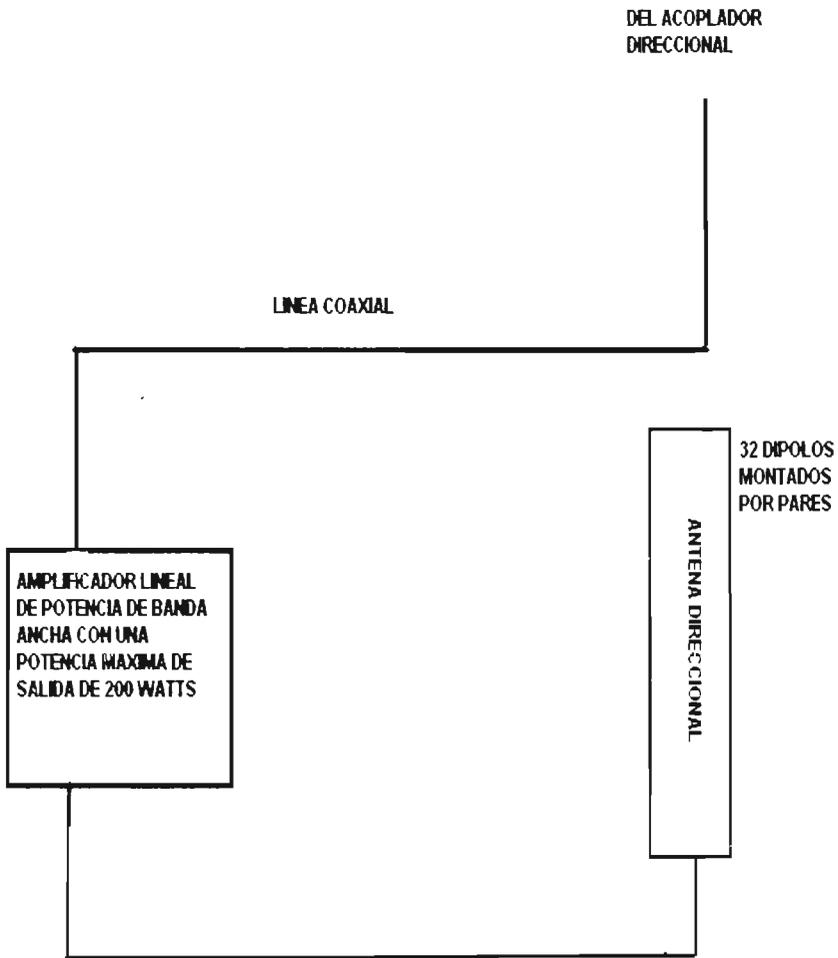


Figura 5.8 Continuación del diagrama a bloques del equipo a instalar.

5.1.5 DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPO

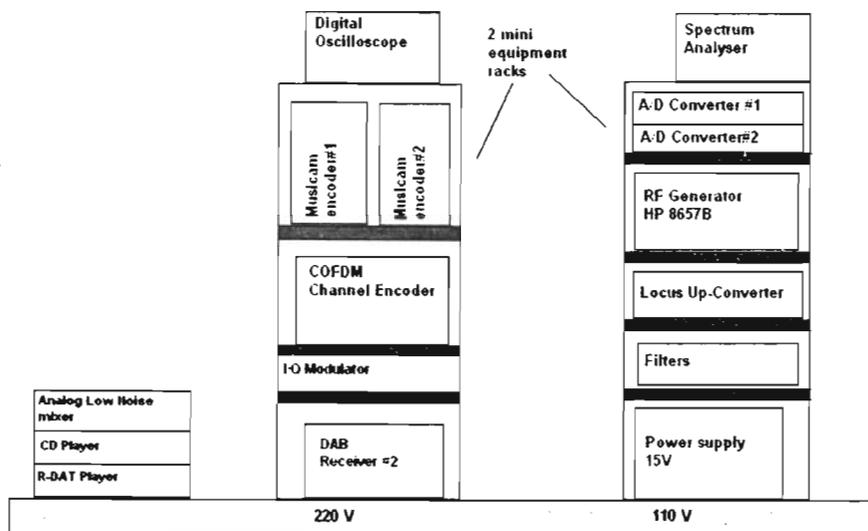


Figura 5.9 Equipo DAB colocado en Racks

EQUIPO	DIMENSIONES(pulg.)		
	ALTURA	ANCHO	PRUFUNDIDAD
DAB RECEIVER #2	6.5"	12.5"	16"
I/Q MODULADOR	5.25"	19"	18"
COFDM CHANNEL ENCODER	10.50"	19"	18"
MUSICAM ENCODER#1	12"	6"	12"
MUSICAM ENCODER#2	12"	6"	12"
Power supply 15V	7"	12"	12"
Locus up-converter	3.5"	19"	18"
RF generator HP8657B	3.5"	17"	24"
A/D Converter#1	2"	17"	16"
A/D Converter #2	2"	17"	16"
Digital scope	7.5"	17"	17.5"
Spectrum analyser	?	?	?
Cd player (5 disc)	?	?	?
R-DAT Player	?	?	?

Tabla 5.5 Dimensiones del Equipo DAB

5.2 RESULTADOS ESPERADOS

- Una estación EUREKA-147 de 200 Watts de consumo para 6 canales instalado en la misma ubicación que un transmisor FM de 20,000 Watts o sea 100 veces mayor y con una potencia radiada aparente de 7.7 Kw., comparado con 100 Kw. En FM (15 veces mayor) cubre el valle de México.
- La banda de audio es sustancialmente mayor 20,000 contra 15,000hz diferencia muy notable para el oído humano. Las características satisfacen en general las exigencias del público.
- Se lograría efectivamente la eliminación del molesto multitrayecto y de otras fuentes ajenas de interferencia, conocidas en FM.
- El relleno de sombras (gap-filler) de muy baja potencia, operando en la misma frecuencia, funciona eficientemente.
- La altura de antena de transmisión requerida es muy inferior a la de FM (en el caso de esta prueba 30 metros contra 100 metros para FM).
- No habría comparación entre la recepción FM y EUREKA 147-DAB, muy en especial para unidades móviles (coches, autobuses, camiones, etc).

Posición de México

México pugna en la Conferencia Administrativa Mundial para Radio (CAMR) en Torremolinos, España en 1992 en unión con la mayoría de los países por la Banda "L" para transmisiones Sonora Digital (1452-1492), asignado por la UIT.

CAPITULO VI EVALUACIÓN ECONOMICA DEL PROYECTO

Para los actuales radiodifusores, es imprescindible incursionar en el campo de las nuevas tecnologías, debido a que los sistemas electrónicos se están transformando a digitales. Es un asunto prioritario, dado el grado de avance de la tecnología digital desarrollada en los últimos años. Es decir, para los empresarios de la radio es importante estar a la vanguardia en cuanto a tecnología se refiere, pues les permitía estar a la altura de los progresos mundiales.

A partir del avance de la tecnología digital, se estableció un nuevo mercado de audio, el cual ha provocado el aumento en la demanda por el sonido de alta calidad entre el público. La gente cada día se ha vuelto más exigente y abierta al campo de la comunicación. En el momento que se impulsan los sistemas DAB, los principales promotores plantearon de manera general, los siguientes objetivos:

- a) conservar y mejorar su audiencia
- b) brindar nuevos productos
- c) y ofrecer un nuevo modelo de transmisión.

Estas fueron las ideas esenciales para el desarrollo de los sistemas DAB, pues mediante esta tecnología, pretenden sustituir de manera gradual a la radio de AM y FM. Por ahora, los europeos siguen trabajando en sus proyectos, con la finalidad de continuar promoviendo el DAB en diversos países. En ese continente intentan cubrir una población de cuando menos 100 millones de habitantes. Al sumar a Canadá y los países asiáticos, se esfuerzan en tener un potencial de más de 2,000 millones de usuarios. En nuestro país, cuando los industriales de la radio conocieron el proyecto Eureka 147 manifestaron un gran interés, debido a las posibilidades tecnológicas que ofrece el sistema. En ese momento, al tener la intención de introducir el DAB europeo, la CIRT y la SCT trabajaron en conjunto y establecieron los siguientes objetivos:

- a) La formación de una comisión mixta con la SCT (denominada Comando DAB).
- b) La firma de convenios de cooperación y desarrollo con la Asociación de Radiodifusores de Canadá y con el Consorcio Europeo Eureka 147.
- c) La formación de una sociedad anónima en la que se invitaba a participar a todos los afiliados a la CIRT. La finalidad de esta sociedad sería la investigación y el desarrollo tecnológico de sistemas de radiodifusión.

Mediante la comisión mixta que formarían, determinaron trabajar en equipo para aplicar pruebas de propagación bajo diferentes condiciones de clima y topografía, en selva, bosque, entre otros, y comprobar que en todos estos ambientes sería resistente el sistema europeo.

Asimismo, acordaron contar con un plan de financiamiento, el cual sería negociado por intermedio de la SCT y el CONACYT. La CIRT proporcionaría una cantidad igual a la aportada por las dos entidades mencionadas, pero la contribución mayor vendría de los propios radiodifusores.

Además, la CIRT a través de la sociedad anónima que constituirían, financiaría las investigaciones, experimentos y pruebas del DAB que se llevarían a cabo.

Los radiodifusores mexicanos coordinarían sus programas con Canadá, país que ha sido el principal promotor de Eureka 147 fuera de Europa. Lo que sí obtuvieron de esta relación, fue efectuar la prueba del sistema europeo en la Ciudad de México en el año de 1993.

Con la creación del Comité Consultivo de Tecnologías Digitales para la radiodifusión, tanto la CIRT como la SCT, actualmente continúan dando seguimiento al progreso de los sistemas DAB.

Por otro lado, aunque México aún no ha elegido ningún sistema, lo que sí se ha planteado es que el país ingresará a la tecnología digital. Así, 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 se utilice para la transmisión, es decir, no se opondrá a la señal de audio que sea necesario difundir. De acuerdo a la CIRT, los siguientes datos muestran una evaluación de los costos de equipos digitales para las estaciones de radio.

EQUIPO	DOLARES USA
Cabina de Transmisión	50,000
Cabina de Producción	70,000
Centro de Cómputo Audio	Incluido
Procesamiento de Audio	10,000
Enlace Estudio Planta	8,000
Planta de emergencia	Incluido
Aire Acondicionado	Incluido
Unidad de Energía	Incluido
	Total 138,000

Tabla 6.1 Sistema Eureka 147 o IBOC, con Equipo 100% Digital Fuente CIRT

Sistema Eureka 147 o IBOC, Actualización Equipo de Estudios de una Emisora en Funcionamiento, para Operar en Modo Digital

EQUIPO	DOLARES USA
Procesamiento de Audio	10,000
Enlace Estudio Planta	8,000
	Total 18,000

Tabla 6.2 Fuente CIRT

Sistema Eureka 147 o IBOC, Estudios de una Emisora en Funcionamiento para Operar en Modo Digital Utilizando su Actual Producción de Audio

EQUIPO	DOLARES USA
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 6.3 Fuente CIRT

Sistema Eureka 147, Equipo de Planta Transmisora para Operar 5 Estaciones en Banda L

EQUIPO	DOLAR ES USA
Transmisor de 500Watts	120,000
Antena de Alta Ganancia	8,000
Línea de Trans. con Accesorios	7,500
Cinco Codificadores Compresores	20,000
Multiplexor para Cinco Canales	20,500
Interfase de Control por Comp.	3,000
Accesorios de Integración	4,000
Torre Soporte para Antenas	30,000
Aire Acondicionado	10,000
Unidad de Energía Ininterrumpible	20,000
Planta de Emergencia	5,000
	Total 248,000

Tabla 6.4 Fuente CIRT

Sistema IBOC, Estimaciones Generales

	FM Combinación en Alto Nivel, empleando el Transmisor Analógico Existente	FM Combinación en Bajo Nivel	AM
Exitador I BOC	\$20,000	\$20,000	\$20,000
Transmisor		\$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 Estudio Digitales	\$1,000 A \$30,000	\$1,000 A \$30,000	\$1,000 A \$30,000
Costo Total	\$38,000 A \$188,000	\$48,000 A \$205,000	\$23,000 A \$250,000

Tabla 6.5 Fuente CIRT

Sistema Eureka Estimaciones Generales para la Implementación

Concepto	Costo	Observaciones
Infraestructura civil	\$8,000 A \$10,000	Anclaje antena, acondicionamiento de cabinas
Infraestructura Clima y Fuerza Red eléctrica		Ya debe existir la infraestructura
Mantenimiento anual	\$6,000	Se utiliza la actual infraestructura de personal para el mantenimiento
Mano de obra	\$4,000	
Total	\$18,000 A \$20,000	

Tabla 6.6 Fuente CIRT

Para el sistema Eureka 147, se contempla que la inversión de la planta transmisora al ser compartida entre cinco estaciones, se tendría: si el costo por estación sería de 248,000, al dividirlo entre cinco, equivaldría a 49,600 Dólares. Este 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, asimismo, su incursión a la modernización. Por ahora, la transición hacia los sistemas DAB, cada día se esta definiendo.

CAPITULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La realización de este trabajo permite obtener una mayor comprensión e información de los sistemas de radiodifusión digital en México, la Radio Digital permite un uso eficiente del espectro electromagnético y ofrece a los emisores una banda más ancha para incluir servicios adicionales.

Cumpliendo con el objetivo de estudiar y analizar la implementación de los sistemas de radiodifusión digital en México, a través de esta tesis se implemento un sistema de radiodifusión digital para México en donde gracias al avance de la tecnología se ha logrado mejorar el servicio y calidad que los actuales sistemas de radiodifusión como el AM y FM no cuentan por ejemplo una calidad de CD y servicios de valor añadido.

En este trabajo se verifico que los sistemas de radiodifusión digital son una alternativa que mejoran minimamente al doble la calidad de los sistemas actuales donde la señal de Radio Digital está convertida en "bits", los famosos "1" y "0" del mundo de la informática. Estos son transportados por las ondas radiofónicas de tal manera que resisten las interferencias. Uno de los elementos clave para su éxito serán los servicios de valor añadido, que marcarán la diferencia frente al servicio analógico y serán uno de los atractivos principales, junto con la mayor calidad y las redes de frecuencia única combinación con sistemas de posicionamiento GPS.

Mientras tanto en el sistema DARS México no tiene planes a corto plazo sobre el desarrollo del sistema DARS en el país las frecuencias han sido asignadas y se cuenta con órbita para ofrecer el servicio, es un hecho que mientras se decide que hacer con el futuro de la radio digital en el país, lentamente podría presentarse una introducción del servicio DARS de XM o Sirius en México.

Entre las empresas que apoyan la adopción del sistema IBOC como "estándar" para las transmisiones digitales en Estados Unidos están 15 de las más importantes cadenas de radio en esa nación, así como importantes empresas fabricantes de equipo y diseño de tecnología, entre ellas la cadena ABC, Clear Channel Communications que, por cierto, tiene inversión en México dentro del Grupo ACIR, Cox Radio, Hispanic Corporation y Harris Corporation (esta última la productora de equipo más importante de Estados Unidos). Para iBiquity acercarse a la Cámara Nacional de la Industria de Radio y Televisión que agrupa a los concesionarios de AM y de FM es estratégico, sería un extraordinario aliado para impulsar la adopción del sistema IBOC para las transmisiones de radio digital en México, un mercado muy atractivo en términos de compra de tecnología y de equipo. Del 6 de octubre de 2003 al 5 de junio de 2004, se realizaron en esta ciudad las primeras pruebas formales de los sistemas digitales de radio con la ayuda de los transmisores de las estaciones de FM de Grupo Radio Centro (GRC), empresa que obtuvo el permiso de la SCT para estas transmisiones digitales, que se realizan bajo la coordinación de la Cámara Nacional de la Industria de Radio y Televisión (CIRT). El sistema Eureka 147 es probado con un equipo de la compañía Harris, mientras que el IBOC con un transmisor de la empresa Broadcast Electronics. Ambos equipos fueron prestados por los promotores de los sistemas para que los ingenieros mexicanos puedan utilizarlos con toda libertad y realizar las pruebas que consideren necesarias.

Uno de los objetivos de este trabajo es conocer y evaluar las posibilidades de una de las más importantes nuevas tecnologías en la radiodifusión para México con una simple demostración donde los funcionarios del gobierno, los radiodifusores, los ingenieros y técnicos de la radiodifusión puedan efectuar una evaluación práctica del comportamiento del sistema DAB desarrollado por el consorcio Eureka-147 operando en la banda L aprobada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) durante la CAMR-92.

Nos damos cuenta que los radiodifusores en México tendrían que cambiar parte de su equipo al sistema eureka-147 donde el costo del equipo es mínimo y así estar a la vanguardia en sistemas de radiodifusión digital México.

La radio digital, aunque acaba de entrar en el mercado del audiovisual, es ya en estos momentos la radio del futuro, radio que además tendrá mucho de multimedia

**RECOMENDACIONES Y CONTINUIDAD.
(Orientada a la implementación del sistema, en la construcción y
comercialización)**

- Consultar con diversas áreas de la industria la opinión de esta nueva tecnología incluyendo Universidades, escuelas técnicas, medios de difusión: Prensa, Publicaciones técnicas, Televisión, Ensambladores de coches y camiones, representaciones diplomáticas, especialmente de Canadá.
- Contar con técnicos y otros cooperadores de un mayor número de radioemisores con la finalidad de familiarizarse con las nuevas tecnologías en radiodifusión digital. Es ventajoso tanto para la buena y pronta realización de demostraciones de este tipo de servicio como para la capacitación práctica de los técnicos y ingenieros de las estaciones de radio.
- Mantenerse constantemente actualizado en todos los nuevos desarrollos tecnológicos dentro del campo de la industria de radio.
- Para conocer las opiniones de los asistentes se elaboraría un cuestionario donde los resultados de estos cuestionarios decidirían si el sistema es adecuado.
- Mantener las buenas relaciones cultivadas con el grupo EUREKA-DAB participando el Foro Mundial DAB siguiendo en adelante con los estudios de las posibles implementaciones de este sistema en México, definiendo la estrategia y política más apropiada.

GLOSARIO

Analógica (Emisión). Todas las señales de Frecuencia Modulada, Onda Media y Onda larga utilizan formas de modulación analógicas. Esto significa que el sonido es transmitido como una onda electromagnética. El receptor tiene dificultad en separar el sonido original de cualquier otro ruido o interferencia que pudiera ser captado o añadido a la onda en su ruta desde el transmisor.

AIC, (Canal Auxiliar de Información). En algunas circunstancias, puede no haber suficiente sitio en el canal principal para transportar toda la información que necesita ser enviada. En este caso, el AIC funciona como un canal de desagüe. (La idea es que si el otro canal queda bloqueado por el excesivo flujo de información se utiliza el AIC para liberar esa acumulación).

Área de cobertura. Es el área geográfica dentro de la cual una señal puede ser recibida a un mínimo nivel.

Bit. Un dígito binario (en exclusiva el 1 o el 0) que es la unidad más pequeña de información.

Corriente de Bits. Es el nombre con el que habitualmente se denomina al flujo de bits.

COFDM (Multiplexor Divisor de Frecuencia Ortogonal Codificada). Es el sistema particular de modulación digital utilizado en DAB y que asegura que las señales recibidas son fiables incluso si el ambiente es propenso a las interferencias.

Canal de Frecuencia. Es el área del espectro electromagnético que se utiliza para la transmisión de emisiones de radio y televisión. La transmisión analógica permite un solo programa por frecuencia: por ejemplo, una radioemisora o un canal de TV. La transmisión digital permite que por un solo canal se emitan muchos programas utilizando un Multiplexor.

Control Dinámico de Alcance (Dynamic Range Control). Es un sistema que permite al usuario ejercer cierto control sobre el sonido recibido. El radioemisor transmite información adicional que puede ser usada por el aparato receptor una vez que el oyente ha seleccionado el programa que le interesa, y le da la oportunidad de oír más alto los sonidos más tenues. Este sistema aumenta la capacidad auditiva en lugares difíciles como los coches.

Digital (Emisión). Es el sistema de transmisión mediante el que, con alta tecnología, los sonidos (o imágenes) emitidos son procesados electrónicamente y convertidos en bits. Estos se pueden reconocer a pesar de los ruidos o interferencias que puedan existir, lo que permite al receptor reconstruir la señal transmitida sin deficiencias.

Eureka 147. Es el nombre dado al equipo que desarrolló las especificaciones técnicas para la DAB. Los primeros miembros provenían de organizaciones europeas, hoy proceden de todo el mundo.

FM (Frecuencia Modulada), MW (Onda Media) y LW (Onda Larga). Se refiere a las señales existentes que son recibidas habitualmente por las radios convencionales.

Hybrid IBOC. El modo inicial del sistema iBiquity AM IBOC que adiciona la capacidad de audio digital a una señal de AM por medio de la inserción de bandas laterales digitales en el espectro arriba, abajo, y dentro de la señal análoga de AM. El grado de la información de audio digital puede variar de 36kbts/s a 56kbts/s, y la correspondiente en grado de información es 0.4 bits/s en ambos casos.

IBOC. Un sistema donde las señales digitales son colocadas dentro de la reciente banda de AM y FM de acuerdo a la FCC- canal asignado de una estación de radio.

Interfase Receptor de Datos. Conexión en el receptor que permite que la información DAB se lleve a otros sistemas. Por ejemplo, en un coche equipado con sistemas de localización GPS (Global Positioning System).

Kilobits por segundo. 1.000 bits por segundo.

Longley-Rice. Un modelo usado para predecir la pérdida de transmisión media a largo plazo sobre terreno irregular que es aplicado para predecir la fortaleza de la señal en una o más localidades.

Multiplexor. Método de transmisión de datos que permite que varios programas y otros servicios adicionales puedan ser transmitidos por un mismo canal de frecuencia.

MPEG-2 AAC. El codificador avanzado de audio, una calidad-alta, un grado bajo del sistema porcentual del código de audio desarrollado conjuntamente por AT&T, Dolby laboratorios, Fraunhofer IIG, and Sony.

Multipath. Una condición de recepción RF en la cual una señal de radio que alcanza una antena receptora llega por múltiples caminos debido a reflexiones de las señales apagadas de varias superficies en el medio ambiente. Por el viaje de diferentes distancias al receptor, las recepciones llegan con diferentes tiempos de retraso y señales intensas. Cuando las condiciones del camino múltiple son lo suficientemente grandes, así como el área donde la primera reflexión que proviene de la ionosfera regresa a la tierra y encuentra la señal ancha de tierra de la estación, la recepción análoga de radio AM de la radiodifusora puede llegar a ser distorsionada.

NRSC. Comité Nacional de Sistemas de Radio, un organismo con estándares técnicos la industria de la radiodifusión, patrocinada por la Asociación de consumidores electrónicos (CEA) y la Asociación Nacional de Radiodifusoras (NAB).

Operador del Multiplexor. Proveedor de una instalación múltiplex que ha sido autorizado para gestionar un determinado canal de frecuencia.

Objective testing. Usando equipo de prueba para medir directamente el desempeño de un sistema bajo prueba. Por ejemplo, el poder de salida de un transmisor puede ser objetivamente medido usando un medidor de watt.

OEM. (Fabricante de equipo original) Generalmente describe la fabricación instalada de radio dentro de un carro antes de comprarlo.

Píxel. Unidad minúscula cuya unión componen la imagen en una pantalla. Se espera que DAB utilice composiciones píxel de cristal líquido.

Programa Asociado de Datos (PAD, Programé Associated Data). Información transmitida por DAB, íntimamente ligada a un programa particular de servicio. PAD puede transmitir información DRC (Dynamic Range Control) o información textual que aparece en la pantalla de cristal líquido del receptor.

Perceptual audio coding. También conocido como compresión de audio ó grado de reducción de audio bit, está es la forma de representar una señal de audio con pocos bits mientras sigue preservando calidad de audio. Los planes de código están basados sobre las características porcentuales del oído humano. Algunos ejemplos de estos codificadores son: PAC, AAC, MPEG-2 y AC-3.

PAC. Un sistema perceptual flexible de código de audio desarrollado originalmente por Lucent tecnologías y después refinado por iBiquity. El sistema puede operar sobre un rango amplio de grados pequeños y es capaz de soportar audio múltiples canales.

RMS. (root mean square) El valor de RMS de una función periódica, es el cuadrado de la raíz del promedio de el cuadrado del valor de la función tomada a través de un periodo.

RSS (root sum square). Un método de combinar la fuerza de señales múltiples tomando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de todas las señales.

Tasa de reducción de bit. Es una técnica para reducir el número de dígitos binarios necesarios para transmitir información. En las emisiones radiofónicas esto reduce el porcentaje de información que necesita ser transmitida, a pesar de lo cual se consigue mantener una excelente calidad de sonido (o imagen).

Tasa de Bit. La tasa en que fluyen, por segundo, los bits de información en un sistema de transmisión digital.

Tarjeta PC DAB. Dispositivo informático que permite recibir DAB en el ordenador.

Reconfiguración. Supone cambiar la combinación de servicios (audio o datos) transmitidos por la señal DAB. El emisor tiene libertad absoluta y puede elegir la combinación de servicios que le ofrecen.

Servicios. Servicios adicionales de radio o datos que se pueden enviar por la señal DAB. Esta señal se puede cambiar de vez en cuando (reconfiguración) para añadir o variar los servicios extra.

SDARS (Servicio de radio de audio digital de satelital) Un sistema digital de audio repetidor – satelital tal como aquellos como XM Radio y Sirius. El grado de información de audio digital en estos sistemas esta especificado como 64kbits/s.

BIBLIOGRAFIA

- ♣ Wayne, Tomasi
Sistemas de Comunicaciones Electrónicas
Ed. Pearson Education
2001

- ♣ Hueg, Wolfgang and Lauterbach Tomas
Digital Audio Broadcasting Principles and Applications
Ed. Wiley
2003

- ♣ Ibarra, Juan
Curso de Comunicación Vía Satélite
Telecomm y Telégrafos
1998

- ♣ Matehuala, Rosalba
Estudio de la Nueva Transformación Tecnológica de la Radiodifusión en México DAB
2002

- ♣ Robledo, Jaime
"Nuevas Tecnologías en Radio, Radiodifusión Sonora Digital "
CIRT
1993

- ♣ Viveros Francisco José
"Sistema DARS, Análisis para Proporcionar servicios en México"
Telecomm y Telégrafos
2002

- ♣ "Radio Satelital, ahora también llega a nuestra casa"
Revista. Audio y video
No. 50 , octubre de 2003.
Ed. Mina. p.p 20-25

- ♣ "RED, radio digital via satélite"
Revista. Red
No.139, junio de 2002
Ed. Red. p.p 32-36

Entrevistas

Ing. José Francisco Viveros Roa
Gerente Comercial de Servicios Móviles y Rurales Satelitales por Telecomm y Telégrafos

Ing. Jaime Robledo Romero
Director de Ingeniería de la CIRT

Ing. Ernesto Reyes
Subdirector Técnico de la CIRT y Miembro del Comité de Nuevas Tecnologías

Ing. Guillermo Corvera
Director de Radio por la SCT y Miembro del Comité de Nuevas Tecnologías

Ing. Luis Fernando Borjón
Director de televisión por la SCT y Miembro del Comité de Nuevas Tecnologías

Internet

[www_ 1] www.worlddab.org

[www_ 2] www.rtve.es/dab

[www_ 3] www.elmundoradio.com

[www_ 4] www.radiomexicana.com.mx

[www_ 5] www.cirt.com.mx

[www_ 6] www.itu.int/

[www_ 7] www.bbc.co.uk

[www_ 8] http://en.wikipedia.org/wiki/Eureka_147

[www_ 9] www.teoveras.com.do

[www_ 10] www.fcc.gov

[www_ 11] www.xmradio.com/

[www_ 12] www.siriusradio.com/

[www_ 13] www.worldspace.com/

[www_ 14] www.etsi.org