

**DESARROLLO DE UN MODELO PARA EL DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE  
RADIODIFUSIÓN DIGITAL EN COLOMBIA**



**ADRIANA FERNÁNDEZ GARCÍA**

**MILTON ESTEBAN MIRANDA RODRÍGUEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES**

**GRUPO GNTT I+D EN NUEVAS TECNOLOGÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**POPAYÁN**

**2003**

**DESARROLLO DE UN MODELO PARA EL DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE  
RADIODIFUSIÓN DIGITAL EN COLOMBIA**

**ADRIANA FERNÁNDEZ GARCÍA  
MILTON ESTEBAN MIRANDA RODRÍGUEZ**

**Monografía para optar al título de  
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**

**Director  
Ingeniero LUIS ALFREDO GUERRERO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES  
GRUPO GNTT I+D EN NUEVAS TECNOLOGÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**POPAYÁN**

**2003**

*A Dios por su amor y bendiciones dadas en Cristo Jesús.*

*A nuestros padres y hermanos por todo su amor,  
confianza, paciencia y apoyo incondicional.*

*A Natalia y Eva, por ser las mejores amigas*

Adriana y Esteban.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Luis Alfredo Guerrero, Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Director del Proyecto, por sus orientaciones.

Alejandro Toledo Tovar, Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, encargado de administrar los recursos informáticos del grupo GNTT, por su confianza y acogimiento dentro del grupo a su cargo.

Victor Manuel Quintero, Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, por su apoyo y recomendaciones dadas.

Funcionarios de la emisora de la Universidad del Cauca, por facilitarnos la información precisa en el momento oportuno.

Nuestros familiares y amigos por su constante motivación y apoyo incondicional.

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>0</b>
<b>1. RADIODIFUSIÓN DIGITAL .....</b>	<b>2</b>
1.1 HISTORIA .....	2
1.2 RADIO DIGITAL .....	6
1.2.1 Características .....	9
1.2.2 Comparación entre la radio analógica y la radio digital .....	10
1.2.3 Ventajas .....	12
1.2.4 Estándares .....	13
1.2.5 Cobertura del DAB en el mundo .....	20
<b>2. SISTEMA EUREKA 147 .....</b>	<b>25</b>
2.1 GENERALIDADES .....	25
2.2 RED DAB .....	26
2.2.1 Centro de contribución .....	27
2.2.2 Red de transporte .....	28
2.2.3 Centros de difusión .....	29
2.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DAB .....	29
2.3.1 Mecanismos de transporte .....	29
2.3.2 Modos DAB .....	33
2.3.3 Codificación de audio .....	34
2.3.4 Procesamiento de la señal .....	36
2.3.5 Recepción .....	41
<b>3. SISTEMA IBOC .....</b>	<b>43</b>
3.1 COMPONENTES DEL SISTEMA .....	44
3.1.1 Codec .....	44
3.1.2 Técnicas de modulación .....	44
3.1.3 Codificación FEC y entrelazado .....	44
3.1.4 Mezclador .....	45
3.2 MODOS DE OPERACIÓN .....	45
3.2.1 Modo híbrido .....	45
3.2.2 Modo completamente digital .....	46
3.2.3 Generación de la señal .....	47
3.2.4 Recepción de la señal .....	48
3.3 PROTOCOLOS Y SERVICIOS IBOC .....	49

<b>3.4 CAPAS DEL IBOC FM .....</b>	<b>50</b>
3.4.1 Nivel 1 para el FM Híbrido.....	51
3.4.2 Formas de onda y espectro.....	51
3.4.3 Canal de control del sistema .....	52
3.4.4 Canales lógicos .....	52
3.4.5 Componentes funcionales .....	54
<b>3.5. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL .....</b>	<b>55</b>
3.5.1 Funcionalidad .....	56
3.5.2 Subsistema de transmisión.....	56
3.5.3 Transmisores FM .....	58
<b>3.6 FORMAS DE ONDA Y ESPECTRO .....</b>	<b>60</b>
3.6.1 División de frecuencias y convenciones espectrales.....	61
3.6.2 Espectro híbrido.....	62
3.6.3 Espectro híbrido extendido .....	63
3.6.4 Espectro completamente digital.....	65
<b>3.7 NIVELES DEL IBOC AM.....</b>	<b>67</b>
3.7.1 Formas de onda y espectro.....	67
3.7.2 Canal de control del sistema .....	68
3.7.3 Canales lógicos .....	68
<b>3.8 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL .....</b>	<b>71</b>
3.8.1 Funcionalidad .....	71
3.8.2 Subsistema de transmisión.....	72
3.8.3 Transmisores AM .....	73
3.8.4 Componentes funcionales .....	73
<b>3.9 FORMAS DE ONDA Y ESPECTRO .....</b>	<b>75</b>
3.9.1 Convenciones espectrales. ....	75
3.9.2 Espectro híbrido.....	75
3.9.3 Espectro completamente digital.....	76
<b>4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESTANDARES EUREKA 147 E IBOC .....</b>	<b>78</b>
<b>4.1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>78</b>
<b>4.2. LA RADIODIFUSIÓN DIGITAL EN EL ENTORNO COLOMBIANO FRENTE A LA RADIODIFUSIÓN CONVENCIONAL .....</b>	<b>78</b>
4.2.1. Ventajas .....	78
4.2.2. Desventajas.....	79
<b>4.3. EL SISTEMA IBOC FRENTE AL SISTEMA EUREKA 147 .....</b>	<b>80</b>
4.3.1. Ventajas .....	80
4.3.2. Desventajas.....	80
<b>4.4. EL SISTEMA EUREKA 147 FRENTE AL SISTEMA IBOC .....</b>	<b>80</b>
4.4.1. Ventajas .....	80
4.4.2. Desventajas.....	81
<b>4.5 ELECCIÓN DEL ESTÁNDAR MAS ADECUADO PARA COLOMBIA .....</b>	<b>81</b>

<b>5. MODELO PARA EL DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL EN COLOMBIA.....</b>	<b>82</b>
<b>5.1 GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN.....</b>	<b>82</b>
5.1.1 Equipos de los estudios.....	82
5.1.2 Enlace estudio-transmisor.....	83
5.1.3 Sistema de Transmisión.....	85
5.1.4 Ubicación de la Estación.....	86
<b>5.2 SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....</b>	<b>87</b>
5.2.1 Transmisión en AM.....	87
5.2.2 Transmisión en FM.....	89
<b>6. DISEÑO DE UNA ESTACIÓN FM IBOC EN POPAYÁN .....</b>	<b>94</b>
<b>6.1 ESPECIFICACIONES PARA LA EMISORA SEGÚN EL PLAN TÉCNICO FM.....</b>	<b>94</b>
<b>6.2 DISEÑO DE LOS ESTUDIOS.....</b>	<b>95</b>
<b>6.3 ENLACE ESTUDIO TRANSMISOR.....</b>	<b>96</b>
<b>6.4 SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....</b>	<b>97</b>
<b>6.5 UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN.....</b>	<b>99</b>
<b>6.6 CÁLCULOS DE PROPAGACIÓN .....</b>	<b>100</b>
6.6.1 Ubicación del sistema de transmisión.....	100
6.6.2 Cálculo de la altura sobre el nivel de mar para el centro de radiación de la antena (HSI).....	100
6.6.2 Cálculo de la potencia radiada aparente.....	102
6.6.3 Alcance del servicio.....	104
6.6.4 Cálculos de nivel de señal.....	105
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>108</b>
<b>7.1 CONCLUSIONES.....</b>	<b>108</b>
<b>7.2 RECOMENDACIONES .....</b>	<b>109</b>
<b>ACRÓNIMOS .....</b>	<b>111</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>115</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>118</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1. Comparación entre los sistemas analógicos y los digitales .....	11
Tabla 1-2. Principales parámetros de algunos de los sistemas de radio digital .....	13
Tabla 1-3. Sistemas participantes en las pruebas hechas por el EIA/NRSC. ....	17
Tabla 2-1. Parámetros definidos en los diferentes modos de transmisión .....	33
Tabla 3-1. Velocidad de información de los canales lógicos primarios .....	53
Tabla 3-2. Velocidad de información de los canales lógicos secundarios .....	53
Tabla 3-3. Resumen de la forma de onda híbrida. Modo de servicio MP1.....	63
Tabla 3-4. Espectro de la onda híbrida extendida. Modos de servicio MP2 a Mp4. ....	64
Tabla 3-5. Espectro de la onda completamente digital. MP5 a Mp7, MS1 a MS4 .....	66
Tabla 3-6. Velocidad de información de los canales lógicos AM .....	69
Tabla 3-7. Resumen de la forma de onda híbrida. ....	76
Tabla 3-8. Resumen de la forma de onda completamente digital .....	77
Tabla 6-1. Costos de los equipos del sistema de transmisión.....	107



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1. Arquitectura de un sistema de radiodifusión convencional .....	7
Figura 1-2. Arquitectura de un sistema de radiodifusión en el estándar Eureka .....	9
Figura 1-3. Mapa de cobertura del sistema Worldspace .....	15
Figura 2-1. Red DAB .....	26
Figura 2-2. Centro de Contribución .....	28
Figura 2-3. Sistema DAB .....	30
Figura 2-4. Trama DAB.....	31
Figura 2-5. Normas ISO utilizadas en el MPEG .....	34
Figura 2-6. Codificador de audio .....	35
Figura 2-7. Decodificador de audio .....	36
Figura 2-8. Receptor DAB .....	41
Figura 3-2. Formas de onda FM y AM, modo completamente digital .....	47
Figura 3-3. Transmisor DAB IBOC.....	48
Figura 3-4. Diagrama de un receptor típico FM IBOC .....	49
Figura 3-5. Pila de protocolos .....	50
Figura 3-6. Diagrama en bloques del nivel 1 FM .....	54
Figura 3-7. Generación de la Señal OFDM .....	56
Figura 3-8. Subsistema de transmisión para los modos de funcionamiento IBOC.....	57
Figura 3-9. Combinación en alto nivel.....	59
Figura 3-10. Combinación en bajo nivel .....	60
Figura 3-11. Sistema de antenas independiente.....	60
Figura 3-12. División de frecuencia A. ....	61
Figura 3-13. División de frecuencia B. ....	61

Figura 3-14. Mapeo espectral de la subportadora de referencia banda inferior .....	62
Figura 3-15. Mapeo espectral de la subportadora de referencia banda superior.....	62
Figura 3-16. Forma de onda híbrida para FM .....	63
Figura 3-17. Forma de onda del modo Híbrido extendido para FM .....	64
Figura 3-18. Forma de onda, modo completamente digital para FM.....	66
Figura 3-19. Diagrama en bloques del nivel 1 .....	70
Figura 3-20. Diagrama de la generación de la señal OFDM.....	71
Figura 3-21. Subsistema de transmisión híbrido y completamente digital.....	72
Figura 3-22. Transmisor AM .....	73
Figura 3-23. Forma de onda híbrida AM .....	76
Figura 3-24. Forma de onda AM completamente digital. ....	77
Figura 5-1. Enlace estudio-transmisor .....	84
Figura 5-2. Sistema de transmisión AM híbrido .....	88
Figura 5-3. Sistema de transmisión AM completamente digital. ....	89
Figura 5-4. Sistema FM IBOC con amplificación separada .....	89
Figura 5-5. Combinación en alto nivel.....	90
Figura 5-6. Combinación en bajo nivel. ....	91
Figura 5-7. Sistema de transmisión FM completamente digital .....	93
Figura 6-1. Equipos en el estudio. ....	96
Figura 6-2. Diagrama de bloques básico convencional de los estudios .....	96
Figura 6-3. Diagrama básico para los estudios utilizando el modo híbrido IBOC .....	97
Figura 6-4. Diagrama en bloques STL para transmisión de datos .....	97
Figura 6-5. Equipos en el sitio transmisor / IBOC híbrido .....	99

## INTRODUCCIÓN

Debe entenderse que los desarrollos tecnológicos imponen cada día nuevos desafíos, ante los cuales no es suficiente decir simplemente que se tiene tecnología disponible, ya que si ésta no se sabe usar o si se tiene una actitud pasiva ante su avance, se podría pensar que es innecesaria sin antes haber estudiado el universo de posibilidades que ella puede ofrecer.

Ante la llegada de la radio digital, uno de los primeros cuestionamientos que surge es ¿para qué se necesita esta nueva tecnología? y ¿por qué está siendo fomentada tan intensamente por los organismos radiofónicos regulatorios, los fabricantes y los políticos?; las simples razones económicas podrían dar una primera respuesta.

La tecnología analógica actual ha demostrado su eficacia, rentabilidad y fiabilidad para sus usuarios; puede implantarse en países en desarrollo con frecuencia a menores costos que en los países desarrollados. Sin embargo, para los productores los márgenes de beneficio son escasos (dado que la oferta supera a la demanda) y las innovaciones son raras, lo cual supone escasas oportunidades de nuevos segmentos de mercado.

Con el desarrollo de la radio digital se vislumbra la oportunidad de ofrecer nuevos y mejores servicios que reactiven el mercado. Las tecnologías actuales de AM (Amplitud Modulada) y FM (Frecuencia Modulada) seguirán siendo durante muchos años la mejor alternativa en los países en desarrollo, dados los costos que implica la implementación de esta nueva tecnología; sin embargo, esto no significa que no se deben realizar estudios serios al respecto, ya que tarde o temprano se deberá llegar a su implementación aún en los países en desarrollo, se podría tomar como caso análogo el surgimiento de la radio FM, que aunque apareció en los años 40, tuvo éxito en todo el mundo 30 años más tarde.

Además, vale la pena resaltar que fabricantes, emisoras y organismos oficiales, reunidos en diversos foros mundiales y nacionales con el fin de impulsar la radio digital, consideran que las ventajas que ofrece esta tecnología frente a la analógica incentivarán la compra de receptores, que es uno de los limitantes de la implementación de esta nueva tecnología.

El surgimiento de la radio digital supone un cambio tecnológico de transmisión, procesamiento y difusión de los mensajes, pero conservando la ventaja de la instantaneidad, proximidad, calidez y frescura, entre otros, que caracterizan a la radio y que le han permitido sobrevivir durante casi 100 años.

En muchos países del mundo, en gran parte de América, se limita el derecho de acceso y la condición de emisor, a la capacidad económica de comprar la licencia facultativa. Como lo señala Manuel Chaparro, "Es absurdo hablar de democracia y someter el principio de igualdad a la disponibilidad económica que permite la ocupación y privatización de espacios de dominio público con el sólo objeto de obtener el beneficio

de un sistema que no habla de iguales”, (Febrero, 2001); y tal parece que este mismo camino se seguirá para las regulaciones en torno a la radio digital.

Sin embargo, cabe aclarar, que las leyes colombianas, a partir del año 1994, es decir, durante el gobierno del presidente Gaviria, buscaron amparar la existencia de los modelos comunitarios de radio y televisión, y las autoridades empezaron a considerarlos herramientas básicas para el desarrollo social y, fundamentalmente, para rescatar a un grupo de jóvenes sin ocupación y sin perspectivas, presas de los cárteles y los grupos armados, y lo que se espera es que en el momento en que la radio digital se haga realidad, las nuevas regulaciones sigan contemplando los derechos comunitarios.

En este punto, se debe aclarar que el enfoque que se tendrá a lo largo del documento será básicamente tecnológico, por supuesto sin dejar a un lado los servicios y beneficios que ofrece esta tecnología, pero en el sentido del impacto social, es bastante difícil profundizar, ya que si se toma como referencia aquellos sitios donde se realizó la implementación de la radio digital se puede notar que se manejan diferentes grupos de trabajo: Tecnológico – se ocupa de las pruebas y aspectos técnicos; el Jurídico- que trabaja en el soporte legal que va a acompañar a la radiodifusión digital y, por último, el Comercial- que se ocupa del lanzamiento de la imagen y del proyecto; es claro que como estudiantes de pregrado resulta imposible abarcar de manera profunda los tres aspectos, no sólo por limitantes como el tiempo, sino también debido a los recursos tanto humanos como económicos disponibles para el desarrollo de este proyecto.

El desarrollo de este trabajo tiene como objetivo fundamental crear un modelo que facilite el diseño e implementación de una estación de radiodifusión digital en Colombia y, con ese objetivo en mente, a lo largo del documento se explican los conceptos básicos de la tecnología de Difusión Digital de Audio (DAB, Digital Audio Broadcasting), incluidos los procesos de transmisión de datos y los sistemas de modulación, además se realizará el diseño de una estación digital lo que permitirá clarificar la infraestructura requerida en estudios y demás elementos necesarios, por supuesto para llegar al modelo de diseño primeramente se realiza un estudio de dos de las corrientes tecnológicas que giran en torno a la radiodifusión digital.

Para lograr un resultado satisfactorio mediante un desarrollo organizado del trabajo se utiliza como enfoque metodológico el Modelo para Construcción de Soluciones v1.0 (MCSv1.0)<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> SERRANO, Carlos. Modelo para Construcción de Soluciones v1.0. Colombia: Universidad del Cauca, 2002.

## **1. RADIODIFUSIÓN DIGITAL**

### **1.1 HISTORIA**

La radio es el resultado de muchos años de investigación y de la invención de diferentes artefactos que surgieron debido al desarrollo de la electricidad.

Un descubrimiento clave en el progreso tecnológico hacia la radio fue el electroimán, a la vez que fue clave para el desarrollo del telégrafo, patentado por Samuel F.B. Morse y adoptado gradualmente por grupos comerciales y militares, a partir de diciembre de 1844 que fue cuando se produjo el primer mensaje en clave Morse.

En 1876 Alexander Graham Bell y su asistente, lograron transmitir la voz humana a través de cables eléctricos; al parecer faltaba un corto paso para la transmisión inalámbrica.

El trabajo desarrollado por Volta, Ampere, Henry, Faraday, Maxwell y Hertz para comprender la naturaleza básica de la electricidad tuvo como resultado un conjunto de teorías que llevaron a un desarrollo vertiginoso de tecnologías que permitieron generar, almacenar, medir, transmitir, modificar y controlar de diferentes maneras la electricidad.

En 1897 el inventor y físico italiano Guglielmo Marconi, quien estaba al día acerca de los aportes de Hertz realizó experimentos que tenían objetivos no sólo prácticos sino también comerciales y finalmente patentó el telégrafo inalámbrico en Inglaterra, en julio de 1897.

Como consecuencia inmediata de este nuevo desarrollo aparecieron recursos económicos de apoyo. Poderosas empresas, entidades gubernamentales y militares de las potencias usaron esta tecnología, que por supuesto, aún no llegaba al ciudadano corriente.

Varios científicos e inventores trabajaban en transmitir la voz por medios inalámbricos. A finales de 1906, los radiotelegrafistas de los barcos que navegaban por el Atlántico, escucharon por primera vez una voz que les hablaba en sus auriculares. Reginald A. Fessenden, quien preparó un aparato que permitía la transmisión de señales más complejas que las del sistema Morse, también construyó un transmisor sumamente poderoso para sus experimentos. Era entonces 1906, el año del nacimiento de la radio.

La primera década del nuevo siglo aportó muchos perfeccionamientos, Lee De Forest, inventó el audión, también conocido como tubo de vacío y posteriormente reemplazado por el transistor, lo que permitió la transmisión más nítida a nivel mundial.

El equipo de radio, que en un principio sólo los barcos podían transportar, se hizo más ligero y portátil. Durante la primera guerra mundial, se montaron radioteléfonos en los aviones, para informar a la artillería sobre la precisión de su tiro.

La radiotelefonía producía cuantiosas ganancias y la competencia por asegurarse la explotación de las invenciones importantes era intensa.

En 1916 David Sarnoff, un joven ingeniero de la American Marconi Company envió un memorándum visionario a sus superiores, en el que concebía un plan de desarrollo que convertía a la radio en un "artículo para el hogar", con la compra de una "caja de música de la radio", él planteaba la posibilidad de disfrutar de conciertos, conferencias, actos musicales, recitales, etc, cabe resaltar que sólo le faltó visionar los anuncios publicitarios cantados y los melodramas para la descripción exacta de la radio.

Aunque se presentaron una serie de conflictos debido a intereses económicos y a la falta de regulación que existía, en 1934 se fundó la Comisión de Comunicaciones Federales (FCC, Federal Communications Commission), que pronto se convirtió en el principal instrumento de regulación para la industria de transmisiones en los Estados Unidos.

Aunque existían personas que consideraban que era inconcebible permitir que una posibilidad tan considerable de servicio, de información y de entretenimiento fuera ahogada con propósitos comerciales por la charla publicitaria, la verdad es que los oyentes estaban más interesados en entretenimiento gratuito que en una programación de calidad, y aunque la publicidad fue resistida durante un tiempo, llegó inevitablemente, ya que el público estaba dispuesto a oír la publicidad con tal de poder disfrutar sus programas. El dinero de la publicidad hacía posible la contratación de cómicos, cantantes y de orquestas. Los radioteatros semanales se hicieron populares. Al final de la década de 1920, los principales problemas de la radio como medio de comunicación de masas estaban solucionados.

La edad de oro radial fue en 1930 y 1940. Dos décadas críticas para la sociedad norteamericana. La "gran depresión" y la segunda guerra mundial fueron hechos que repercutieron en el destino de todo ciudadano, pero afectaron poco a la radio.

Al final de la década de 1930 existía un promedio de poco más de un receptor por cada hogar en los Estados Unidos. Este notable aumento se produjo a pesar de los diez años de depresión económica.

Durante las décadas de 1930, de 1940 y hasta a principios de 1950, la radio había logrado capturar la atención de la familia norteamericana durante las horas nocturnas o fue desplazada de la sala de estar al dormitorio, la cocina, el automóvil y la playa. Con el surgimiento de la Televisión hacia 1948, se creía que la radio pronto sería obsoleta, pero después de casi 100 años de radio, se puede notar que ese pronóstico fue errado y por el contrario la radio se ha consolidado a través de los años.

En Colombia la primera emisora comercial, La Voz de Barranquilla, apareció en el año de 1929.

La transmisión de señales radiofónicas en FM (Frecuencia Modulada) fue experimentada por primera vez en Estados Unidos por el señor Edwin Armstrong y se empezó a utilizar como banda comercial, en ese país, a partir de los años cuarenta.

A finales de la década de los sesenta la radio de Frecuencia Modulada no había logrado consolidarse debido, principalmente, al escaso número de aparatos receptores dotados del dispositivo para captar esa banda y al precio relativamente alto de éstos en comparación con los de la banda normal, lo cual provocaba que los anunciantes no

manifestarán mucho interés por promover sus productos en las todavía escasas emisoras de FM.

Cabe resaltar que para impulsar la radio de FM se creó en mayo de 1970 la Asociación de Radiodifusores de FM que de inmediato entró en contacto con fabricantes de receptores de radio para solicitarles que hicieran un esfuerzo por abaratar los precios de los receptores de FM con el fin de que el sistema se popularizara, y con los publicistas y anunciantes para pedirles que apoyaran a las estaciones de esta banda con la inserción de comerciales en ellas, y es esto precisamente lo que se está haciendo ahora con el desarrollo de las nuevas tecnologías para la radio, buscando el apoyo de fabricantes y de todas las entidades que de una u otra forma tienen relación con las estaciones de radiodifusión.

Un siglo después, cuando la radio se ha convertido en uno de los medios de comunicación más difundidos en todo el planeta, las emisoras, los fabricantes y las administraciones de los países más avanzados han comenzado a prepararse y a tomar posiciones para el próximo gran salto tecnológico: **la radio digital**.

Desde 1981 han estado trabajando en el desarrollo del DAB en el Institut für Rindfunktechnik, posteriormente la tecnología DAB comenzó a ser desarrollada en 1987 por el consorcio europeo Eureka 147 integrado por 18 empresas de Alemania, Francia, Inglaterra y Holanda. El sistema DAB creado por este consorcio, debido a lo cual lleva también el nombre de Eureka 147, tiene los siguientes fundamentos técnicos: en un ancho de banda de 1.5 MHz pueden alcanzar 6 canales estereofónicos, lo cual significa que un solo transmisor instalado en esa frecuencia puede enviar señales de 6 emisoras.

El potencial de este sistema de radiodifusión digital puede apreciarse a la luz de las resoluciones que en 1992 tomó la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a través de la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones celebrada en Málaga-Torremolinos, España, y de acuerdo con las cuales, el segmento de 1452 a 1492 MHz fue designado para que en él se realicen las transmisiones de DAB en la Región 2 que incluye a los países de América y el Caribe. Si se considera que en un espacio de 1.5 MHz cabe un bloque de 6 emisoras de DAB y que deben dejarse 150 KHz entre cada uno de esos bloques para evitar interferencias, se tendrá que en los 40 MHz contenidos en el rango de 1452 a 1492 MHz asignado por la UIT caben 24 bloques de 6 estaciones, es decir, 144 emisoras en total.

De manera paralela al proyecto europeo Eureka 147 y de hecho en contraposición a él, Estados Unidos comenzó a desarrollar, a principios de los noventa, otros sistemas de radiodifusión sonora digital, los cuales se agrupan bajo el nombre genérico de "In band on Channel" ("En banda, en canal") más conocidos por su sigla: IBOC. La característica fundamental de estos sistemas es que no utilizan el segmento de 1452 a 1492 MHz asignado por la UIT para la radio sonora digital, sino que tienen el objetivo de lograr transmisiones de ese tipo utilizando las frecuencias normales de AM y FM, es decir que mediante procedimientos de compresión de señales puedan realizarse transmisiones digitales, con sonido similar al disco compacto. Por lo tanto, una diferencia fundamental entre ambos sistemas es que mientras el Eureka 147 requiere de un nuevo "conjunto" de aparatos receptores dotado del dispositivo para captar el rango de 1452 a 1492 MHz, los sistemas IBOC se caracterizan por transmitir el sonido digital a través de las emisoras de AM y FM ya existentes.

La decisión estadounidense de desarrollar sus propios sistemas de radiodifusión digital se debió no sólo a la habitual disputa económico-tecnológica con Europa, sino a un hecho de carácter político-estratégico vinculado con "la seguridad norteamericana". En la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones celebrada en 1992 en Málaga-Torremolinos, España --conocida como CAMR-92--, en la cual, como ya se indicó, la UIT determinó asignar el segmento de 1452 a 1492 MHz --que forma parte de la llamada Banda L-- para las transmisiones de DAB, la delegación de Estados Unidos expresó un total desacuerdo con la decisión y manifestó que, a su juicio, el segmento más adecuado para la prestación de ese servicio sería el de 2310 a 2360 MHz. La causa del desacuerdo estadounidense fue que su sistema de defensa militar a través de las telecomunicaciones se ubica precisamente en la Banda L, por lo cual costaría mucho trabajo a ese país desplazar tan compleja red de sistemas a otra región del espectro radioeléctrico para colocar en su lugar las transmisiones de radio digital. De ahí que en la propia CAMR-92 la delegación de Estados Unidos solicitó formalmente que se le permitiera utilizar el segmento de 2310 a 2360 MHz para el servicio de DAB.

Entre el 26 de abril y el 7 de mayo de 1993 se llevaron a cabo en la Ciudad de México pruebas del sistema Eureka 147 con el auspicio de la CIRT (Cámara nacional de la industria de radio y televisión) y la Asociación de Radiodifusores de Canadá, país interesado en usar ese sistema, las cuales fueron exitosas. Hasta ese momento parecía que los radiodifusores mexicanos impulsarían decididamente el sistema europeo de radiodifusión digital, sin embargo, en ese mismo año logró consolidarse dentro del gremio una fuerte oposición al Eureka 147 promovida especialmente por los radiodifusores del norte del país, lo que frenó el entusiasta impulso inicial que dio la CIRT a este sistema.

La oposición de los radiodifusores de la frontera norte se fundamenta en que, a su juicio, sería un gran problema para la radiodifusión fronteriza la existencia de un sistema como el Eureka 147 que no puede ser utilizado en Estados Unidos, pues una gran parte del auditorio y del mercado publicitario de las emisoras mexicanas ubicadas en esa zona se localiza en la parte sur del territorio estadounidense.

En 1995, el Instituto Europeo de Estándares para las Telecomunicaciones (ETSI, European Telecommunications Standards Institute) adoptó el DAB como estándar. En 1996 la CIRT aún no había tomado ninguna decisión acerca del sistema de DAB que apoyaría.

El sistema IBOC tiene varios años de estarse experimentando en Estados Unidos. La FCC hasta el año 2001 no la había aprobado porque, a su juicio, presentaba aún insuficiencias que debían corregirse. En diciembre de 2001, la empresa Ibiquity Digital, con el apoyo de tres entidades de gran peso en ese país, presentó ante la FCC una nueva propuesta técnica que tomaba en cuenta las observaciones previamente hechas por la autoridad. Apoyan a Ibiquity el Comité Nacional de Sistemas de Radio (NRSC, National Radio Systems Committee), entidad muy respetada en el ámbito técnico, la Asociación Nacional de Radiodifusión (NAB, National Association of Broadcasting), organismo que agrupa a los empresarios de la radio y la TV en Estados Unidos y la Asociación de Consumidores de Electrónica (CEA, Consumer Electronics Association), que representa a los fabricantes de artículos electrónicos. La FCC, autorizó el 10 de Octubre de 2002, la operación provisional de las estaciones de AM y FM utilizando el sistema IBOC de Ibiquity Digital. El reporte concluye que la adopción de una sola norma de transmisión facilitará el desarrollo y comercialización de los servicios digitales para los radiodifusores terrestres.



Ibiquity calcula que para finales del año 2002 varias emisoras empezarían a emplear el IBOC en Atlanta, Boston, Dallas, Denver y Detroit. Considera, asimismo, que en enero de 2003 empezarían a venderse los aparatos receptores para sintonizar las transmisiones de DAB. Además, tres importantes productoras de equipo Harris, BE y Nautel exhibieron transmisores para radio digital en la NAB-2002, exposición que la NAB organizó durante este año.

En México, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y la Cámara Nacional de la Industria de Radio y Televisión están desde hace varios años a la expectativa de cuál será el sistema de DAB que adoptará Estados Unidos para incorporarlo a México.

La radio ha comenzado a abandonar sus tradicionales formas y modos de funcionamiento, está cambiando, se está reinventando. Como en otras etapas de la historia de la radio, el cambio actual tiene un origen tecnológico inmediato, la tecnología digital, que afecta:

- Los procesos de producción (más calidad)
- Los procesos de transmisión (uso eficaz del espectro, señal más resistente a interferencias).
- Los sistemas de recepción de los programas de radio (mejor cobertura y condiciones técnicas de recepción).

La radio ha iniciado una revolución que la obliga a romper sus límites habituales de trabajo para abrirse a otros ámbitos que le eran hasta ahora desconocidos.

Ahora mismo, el éxito del DAB depende de los mismos factores que se vislumbraban en 1994 y 1997 –años críticos para esta tecnología-. Se requiere la autorización de más frecuencias; de marcos regulatorios flexibles que estimulen las nuevas iniciativas, de radiodifusores dispuestos a arriesgar; y de receptores que estén disponibles a bajo costo.

Algunos especialistas calculan que la introducción de la DAB hará desaparecer los métodos actuales de radiodifusión aproximadamente en diez años, como sucedió con los discos de acetato de larga duración (LP), cuando se introdujo el disco compacto (CD, Compact Disk) en el mercado.

## **1.2 RADIO DIGITAL**

Después del anterior recuento histórico se hace más claro que tras los actuales avances tecnológicos, en este momento es posible hablar de Radio Digital, también denominada la radio del futuro y conocida por sus siglas en inglés como DAB (Digital Audio Broadcasting).

En forma básica, la radio digital es un aplicación de la tecnología en la cual el sonido se procesa y se transmite como un flujo de datos binarios. El desarrollo de la radio digital se ha beneficiado del rápido progreso en las técnicas de codificación digital utilizadas en RF y sistemas de audio, lo que conduce a un uso eficiente del espectro, más capacidad de canal, o una combinación de estos beneficios. Las técnicas de compresión digital que se emplean en los sistemas de radio mejoran la calidad del sonido a bajas velocidades hasta el extremo que la radiodifusión puede ser hecha

sobre diferentes emplazamientos y entonces transmitida para los radiodifusores de los estudios de producción a través de circuitos telefónicos de alta calidad.

En el sistema analógico, la modulación del sonido que se emite se asocia a la forma y a las variaciones de la onda; si ésta llega a su destino sin accidentes ni pérdida de potencia, el sonido es perfecto, pero si la onda sufre interferencias o distorsiones, la calidad sonora se ve deteriorada.

Con el sistema digital, los cambios en la forma de la onda se descomponen (codifican) según un código binario o digital (basado en números "ceros" y "unos") en el mismo punto de emisión, para después volver a decodificarse en el lugar de recepción.

La traducción del sonido a un código binario evita que la calidad sonora quede a merced de los posibles accidentes de la onda, en su "viaje" entre el transmisor y el receptor.

DAB es un sistema de radio digital multiservicio de alta calidad, funciona tanto vía terrestre (T-DAB, Terrestrial DAB) como vía satélite (S-DAB, Satellite DAB) o por cable; el receptor detecta automáticamente el modo de funcionamiento. La cobertura dada por este sistema puede ser local, regional, nacional e internacional.

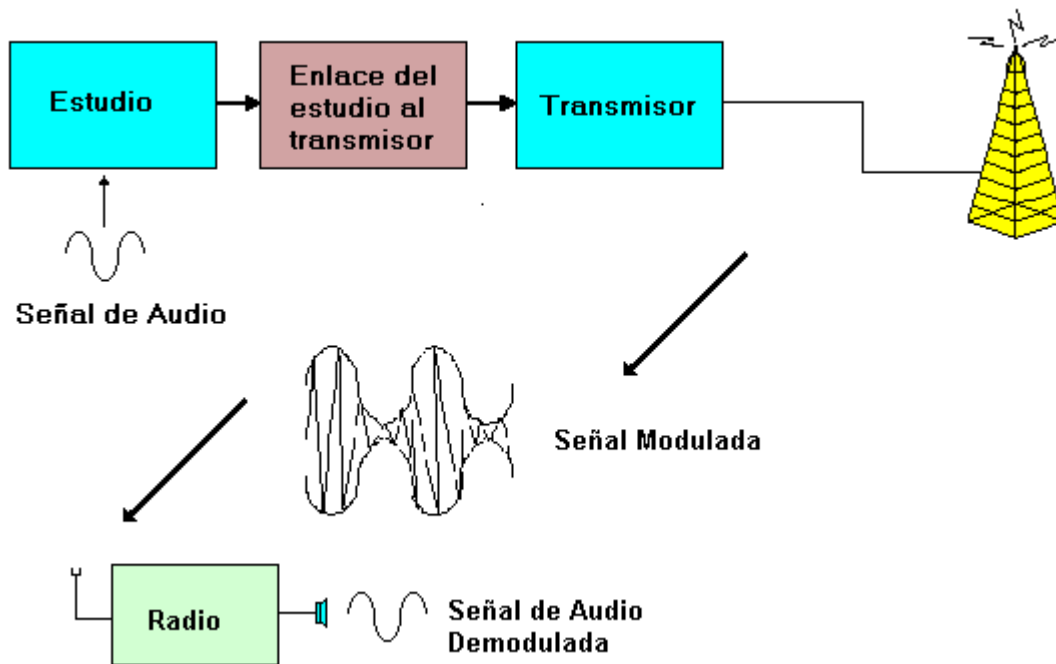


Figura 1-1. Arquitectura de un sistema de radiodifusión convencional

En la radiodifusión analógica tradicional, como se puede observar en la figura 1-1, los estudios se utilizan para modular una señal portadora de alta frecuencia. La señal portadora modulada transporta el audio desde el transmisor a los oyentes. Los receptores de los oyentes reciben la señal modulada y demodulan la señal para obtener la señal original de audio y realizar la amplificación.

En la radiodifusión analógica tradicional tanto AM como FM, cada servicio requiere su propio transmisor y frecuencia. La naturaleza de la tecnología hace imposible usar

asignaciones de canales adyacentes para proveer servicios porque podrían interferirse mutuamente, por lo que se requiere de una planificación cuidadosa con el fin de incluir las bandas de guarda requeridas. Los sistemas existentes de AM y FM no ofrecen una recepción de calidad uniforme a través del área de cobertura. La recepción de la radio AM está dada por las limitaciones de ancho de banda, el cual restringe la calidad de audio y por la interferencia cocanal. Esto es particularmente problemático durante las horas nocturnas. El comienzo de los servicios FM mejoró el ancho de banda y venció la interferencia nocturna, pero la radiodifusión fue diseñada para ser recibida utilizando receptores fijos con antenas externas. Cuando se escucha en vehículos y receptores portátiles, la recepción sufre los efectos de las señales reflejadas y otras formas de interferencia, particularmente en las ciudades y áreas suburbanas.

Los sistemas de radiodifusión analógica son además limitados en su capacidad para transportar información adicional a los programas radiales, aunque claro está, existe el RDS (Radio Data System - Servicio de Datos vía Radio)<sup>2</sup> que es un estándar Europeo en transmisión de datos mediante emisoras convencionales FM. Habitualmente la información que se inyecta es de dos clases; información dinámica y estática. En la información estática se incluye el nombre de la emisora, las frecuencias alternativas etc. y en la información dinámica se envía la información que requiere actualización constante.

La radio por satélite es una idea que tiene aproximadamente 10 años. En 1992 la FCC asignó una banda de frecuencias en la banda "S" (2,310-2,360 MHz) para difusión por satélite a todo el país del servicio de radio digital y sólo cuatro compañías aplicaron para una licencia de radiodifusión en esta banda. Sin embargo, en 1997 la FCC otorgó licencias a sólo dos de esas compañías, Satellite CD Radio (ahora Sirius Satellite Radio) y American Mobile Radio (ahora XM Satellite Radio). Sirius y XM pagaron más de \$80 millones de dólares cada una por las licencias del espectro en la banda "S". Existe una tercer compañía que brinda actualmente este tipo de servicio en Asia y África. Esta compañía es WorldSpace y está pronta a brindar el servicio de radio por satélite en Sudamérica.

IBOC es el acercamiento preferido por los radiodifusores para introducir los servicios de DAB terrestres en los Estados Unidos dada la falta de disponibilidad del espectro para implementar un sistema en una nueva banda, como por ejemplo el Eureka 147. Los sistemas IBOC están diseñados para funcionar en las bandas de radiodifusión existentes y para ser compatibles con las actuales señales analógicas.

Como se puede apreciar en la figura 1-2, en el sistema DAB de Eureka, la señal proveniente de los estudios es codificada y la señal de datos contiene información que describe los servicios de audio que se suministran a un multiplexor. Se aplican modernas técnicas de compresión en el codificador que inteligentemente reducen la cantidad de información que se va a transmitir sin afectar la calidad perceptible de la señal. El multiplexor DAB combina varios servicios (o tramas de datos) dentro de flujos de datos a 2 Mbps que también contienen información de red y control.

---

<sup>2</sup> El RDS comenzó a desarrollarse de forma experimental en 1985 en Holanda, Suecia, Reino Unido, Francia y Alemania; hoy es una realidad en casi todos los países europeos así como en EE.UU, aunque sólo es usado por un reducido número de emisoras.

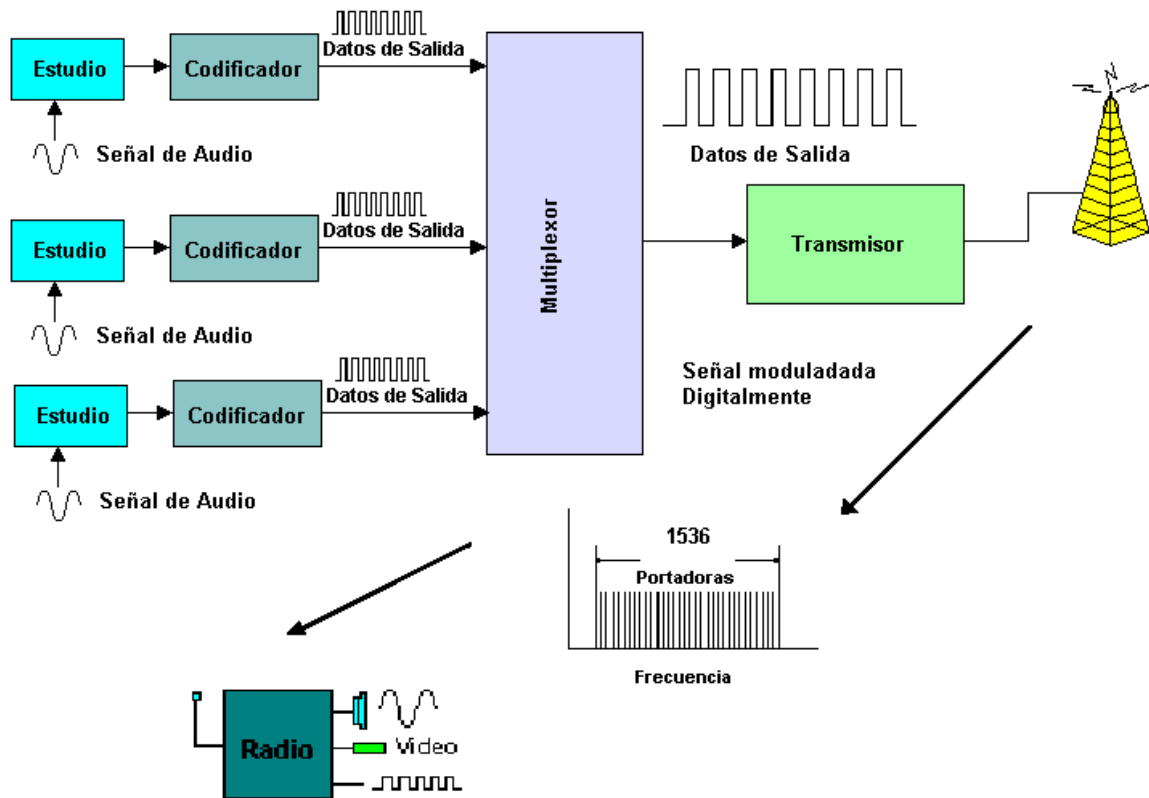


Figura 1-2. Arquitectura de un sistema de radiodifusión en el estándar Eureka

En el transmisor DAB los flujos de datos se procesan de acuerdo con la información de control incluida en éstos y se aplican a un gran número de portadoras para realizar la transmisión al usuario. Es precisamente, el gran número de portadoras en el nuevo canal del esquema de codificación en conjunto con las técnicas de codificación utilizadas, lo que facilita la robustez y confiabilidad de los datos.

### 1.2.1 Características

Las características de la radio digital, básicamente están sujetas al tipo de tecnología que se utilice para implementarla, como ya se había mencionado antes, el desarrollo de este proyecto está enfocado al estudio de dos estándares en particular, el Estadounidense conocido como IBOC<sup>3</sup> y el Europeo denominado Eureka, y son precisamente las características de éstos dos estándares las que se quieren resaltar.

A continuación se encuentra un resumen de las principales características:

- 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 terrestres o de cable utilizando diferentes modos que el receptor detectará automáticamente.

<sup>3</sup> La tecnología IBOC AM y FM ha sido renombrada por parte de su desarrollador Ibiquity y ahora es conocida como HD Radio.

- **Calidad de sonido:** Es equivalente a la del 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 para eliminar la información no audible, consiguiendo así reducir la cantidad de información a transmitir, en el caso del sistema Eureka se llama MUSICAM y en el caso del sistema IBOC se denomina PAC.
- **Servicios de Datos:** Además de la señal de audio digitalizada, es posible la transmisión de información adicional, claro está, todos estos datos se despliegan a través de una pantalla incorporada al receptor.
- Para la difusión de señales DAB se usa un sistema Multiportadora, como la Multiplexación Ortogonal por División en Frecuencia (OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing), el cual es adecuado para la recepción móvil. OFDM es un método que parte la información a ser enviada dentro de múltiples portadoras moduladas digitalmente utilizando modulación por desplazamiento de fase cuaternaria (QPSK, Quaternary Phase Shift Keying) o modulación de amplitud en cuadratura (QAM, Quadrature Amplitude Modulation). OFDM usa la Transformada Rápida de Fourier (FFT, Fast Fourier transformation) para la demodulación. Un intervalo extra, llamado un intervalo de guarda es adicionado para proveer redundancia para la duración requerida por la FFT, así que OFDM es menos susceptible al efecto multitrayecto, permitiendo una alta recepción en los receptores móviles.
- DAB comprime el audio y aplica codificación de corrección de errores, luego aplica entrelazamiento en frecuencia y tiempo, de esa manera los errores no se concentran en un punto en particular y se provee resistencia contra fallas en la recepción. Finalmente la multiplexación y modulación de señales se hace utilizando OFDM.
- Los receptores de la radiodifusión digital requieren una etapa analógica más sofisticada y un complejo procesamiento digital de la señal. La fase analógica debe suministrar las señales recibidas requeridas para un correcto procesamiento digital de la señal, nivel equilibrado.



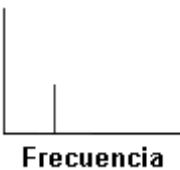

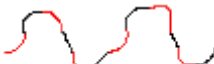
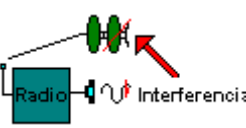


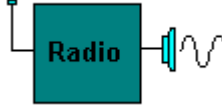
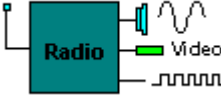
### **1.2.2 Comparación entre la radio analógica y la radio digital**

Cuando se estudian las tecnologías de radio digital algunos de los factores importantes a considerar, en comparación con los sistemas analógicos, son: el actual incremento en la demanda de ancho de banda, el acceso a información y los servicios multimedia. La socialización del conocimiento está llegando a ser aceleradamente dependiente de la entrega de datos y mensajes a tiempo. El acceso a la información permite a los países y sus gentes adaptarse en el mercado global.

Los servicios de radio analógica son severamente obstaculizados en términos de su habilidad para ofrecer servicios de datos en adición a los contenidos de audio. La radio digital, sin embargo, será capaz de entregar esos servicios que serán demandados y que serán esenciales en un país hacia la sociedad de la información.

La tabla 1-1 muestra una comparación entre la radio analógica y el DAB.

Tabla 1-1. Comparación entre los sistemas analógicos y los digitales

SISTEMA ANALÓGICO		SISTEMA DIGITAL	
	La señal que está siendo radiodifundida representa la fuente de información.		La señal a ser transmitida es un conjunto de datos, que representa audio y servicios adicionales.
	Una sola portadora de frecuencia transporta toda la información.		Miles de portadoras, transportan cada una, sólo una porción de la información
	Algunas pérdidas por interferencia, degradan la calidad de la señal recibida, provocando alteraciones de la señal o ruido.	0110101101001001 01 0101101 0100 0110101101001001	Los datos que están siendo transmitidos pueden ser manipulados matemáticamente. Los errores y pérdidas en el flujo de datos pueden ser chequeados y corregidos antes de la decodificación, así se evita alguna alteración audible.
	La calidad de la señal recibida es afectada por factores externos.	192 Kbps = igual que el CD. 96 Kbps = igual que el mono CD.	La calidad de la señal está determinada por la capacidad asignada al servicio y la técnica de corrección de errores usada.
	Se transporta un solo servicio.		Se pueden distribuir servicios en formatos multimedia por ejemplo, video, texto, páginas web.
	Los sistemas son limitados en su capacidad para enviar servicios secundarios.		Se pueden emitir diferentes servicios de datos de alta velocidad.

### **1.2.3 Ventajas**

Uso eficiente del espectro. La eficiencia espectral es cada vez más importante en los países desarrollados con un uso intenso de carácter comercial y privado del espectro de radio para comunicaciones radio móviles.

Uso eficiente de potencia puesto que utiliza un único bloque de transmisión de baja potencia. Al necesitar menos potencia, reduce la intensidad de los campos electromagnéticos en los alrededores de las antenas, en el caso del sistema Eureka.

Se puede variar la velocidad de transferencia de las emisiones según las necesidades, así, una emisora podría emitir a baja velocidad de transferencia de datos mientras ofrece diálogos y, si se va emitir audio en estéreo requerirá mayor flujo de datos.

La radio digital, se puede recibir a través de un computador sin necesidad de conexión a la red. Sólo se necesita una tarjeta de sonido y una antena receptora que se conecta al Computador Personal (PC, Personal Computer) transmitiendo sonido, texto, imágenes, gráficos en espacios similares a las páginas web de Internet, sin necesidad de conexión a la red. Con el DAB la radio converge a la era multimedia.

Mejores condiciones de propagación al superar reflexiones por obstáculos (multitrayectoria), mayor protección ante interferencias y perturbaciones, todo ello debido al sistema de codificación que distribuye la información en un amplio número de frecuencias.

Además de audio se transmiten informaciones diversas como fecha y hora, avisos de emergencia, información de tráfico, posicionamiento global, títulos musicales, autor, imágenes, textos, etc.

Al igual que con el RDS, el DAB también permite poner el nombre de la emisora para facilitar la búsqueda de la emisora favorita, incluso si se tienen varias emisoras disponibles y el receptor tiene un despliegue grande, se puede ver cuantas emisoras hay disponibles. También como el RDS, una vez sintonizada una emisora no es necesario cambiarla conforme hay desplazamiento de una zona a otra, de una ciudad a otra, etc, además emplea una frecuencia única, de tal modo que las cadenas de difusión nacional utilizan la misma frecuencia independientemente del sitio donde se esté.

Cada emisora tiene un Tipo de Programa, es decir, junto con la señal emite un indicativo con el tipo de programa (Música clásica, Noticias, etc...). También en su despliegue puede aparecer información de la pieza musical que está sonando, o información gráfica de otro tipo, incluso anuncios, información sobre el tiempo o el tráfico, avisos de emergencias, noticias, video animado. Incluso se podría tener servicios de radio digital de pago, como conciertos, etc y no es descabellado que en el futuro se puedan leer mensajes e-mail desde un receptor DAB.

La radio digital será un elemento clave dentro de los sistemas de asistencia electrónica a la conductores, que funcionarán en este siglo y que brindarán al automovilista información visual y sonora sobre el tráfico, mediante dispositivos informáticos y sensores situados en el vehículo y la infraestructura vial y por medio del posicionamiento geográfico a través de satélites.

Los expertos alemanes creen que la radio digital servirá de apoyo a los servicios publicitarios, por ejemplo al conectar el radio receptor-monitor a una impresora, la

cual podrá imprimir los cupones de un anuncio, los cuales otorgan descuentos al cliente cuando los presenta en el sitio del anunciante.

#### 1.2.4 Estándares

Numerosos sistemas de radiodifusión digital están disponibles para los radiodifusores del siglo 21. Los sistemas más antiguos son los basados en sistemas satelitales mientras que una variedad de alternativas terrestres están convirtiéndose en una realidad. En la tabla 1-2 se presenta un sumario de los parámetros más importantes, que caracterizan algunos de los sistemas de radiodifusión digital más utilizados en la actualidad.

Tabla 1-2. Principales parámetros de algunos de los sistemas de radio digital

PARÁMETRO	IBOC	DRM	WORLDSPACE	EUREKA 147
Banda de Frecuencia	Sobre las bandas existentes de AM y FM.	Bandas LW, MW, SW	Banda III 174-240 MHz	Banda L 1452 -1492 MHz
Capacidad útil	96 Kbps sobre FM	8-24 Kbps.	96x16x2 = 3072 Kbps	1500 Kpbs por multiplex
Número de programas	Uno	Uno	Múltiple (24 estéreo)	Múltiple (6 estéreo)
Servicio de datos	Limitado	Limitado	Posibles aplicaciones a baja velocidad de datos	Aplicaciones a altas velocidades
Calidad	Cerca al CD	Cerca al FM	Semejante al CD	Muy cercana al CD

El consorcio Radio Digital Mundial (DRM, Digital Radio Mondiale), ha lanzado una propuesta para el desarrollo de un estándar de radiodifusión digital utilizando los elementos existentes, el esfuerzo para definir y establecer un estándar mundial para radio digital en AM tiene como objeto revitalizar el espectro de radiodifusión que ha sido por muchos años considerado incapaz de ofrecer una alta calidad de señal. Sin embargo, las capacidades de la radio digital en AM no exceden las del Eureka 147.

El sistema Eureka 147 ofrece un desempeño superior en términos de robustez de la señal entregada, la calidad recibida, el incremento en la eficiencia en el uso del espectro y la habilidad para entregar altas velocidades en servicios de datos.

DRM emergió de una reunión informal en París en septiembre de 1996 entre algunos de los más importantes radiodifusores internacionales y fabricantes de equipos de radiodifusión. Entre ellos se incluían representantes de Radio France Internationale, TeleDiffusion de France, Deutsche Welle, Voice of America y Thomcast.

Durante este encuentro se llegó al acuerdo de que a menos de que se comenzase a hacer algo concreto, los días de la radiodifusión tanto nacional como internacional en las bandas de AM por debajo de 30 MHz estaban contados.



En noviembre de ese año se llevó a cabo una reunión de mayor alcance. A ella concurre un grupo más amplio de interesados, incluyendo radiodifusores nacionales e internacionales de AM y operadores de cadenas, académicos, centros de investigación, fabricantes de transmisores y receptores, y organizaciones encargadas del desarrollo de la tecnología AM Digital. La reunión convino en la necesidad de crear un grupo con la tarea de establecer los cometidos y estructura de una organización formal a ser denominada Digital Radio Mondiale (DRM).

La organización estaría compuesta de radiodifusores, desarrolladores de sistemas de comunicaciones y los fabricantes de electrónica. Sus principales cometidos serían:

- Formular un diseño para un sistema AM digital, que podría servir como un estándar único mundial, probado, no propietario y evolutivo, manejado por el mercado y orientado al consumidor.
- Facilitar la difusión de la tecnología AM digital alrededor del mundo.

Se crearon en la reunión tres grupos de trabajo. A ellos se les encargó la preparación de documentos y recomendaciones, a ser presentadas en la siguiente reunión de organización de DRM, a realizarse en la conferencia de la NAB. Los grupos formados fueron:

Un grupo de trabajo de requisitos de Radiodifusión (Broadcast Requirements Workgroup) para esbozar un documento de requisitos.

Un Consejo de Dirección Interino (Interim Steering Board) para diseñar una recomendación para la organización.

Un Grupo de Trabajo de Conferencia (Conference Workgroup) para trabajar en una recomendación destinada a la convocatoria de una Conferencia Mundial para el AM Digital (World AM Digital Conference).

El 4 de Abril de 1997 en Las Vegas, Nevada, EE.UU, se llevó a cabo la primera reunión formal de Digital Radio Mondiale. Más de 40 delegados de todos los sectores de la industria, y la mayor parte de las regiones del mundo asistieron a la misma.

En agosto de 1997, la Tercera Reunión Organizativa de DRM fue realizada en la IFA97 en Berlín, Alemania. Con creciente interés se dieron cita unos 48 representantes de la industria de la radiodifusión.

En marzo 5 de 1998, veinte de las organizaciones más importantes del mundo que tenían que ver con la radiodifusión, firmaron el Memorandum de Entendimiento de AM Digital AM en Guangzhou, China, dando comienzo formal a las actividades de DRM, como primer paso a la inauguración oficial.

Mas tarde en Septiembre 10 de 1998 en Amsterdam, Holanda, el Acuerdo de Consorcio (Consortium Agreement) reemplazó al Memorando de Entendimiento .

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 del 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, indú y pakistani, entre otros. Los haces de WorldSpace están dirigidos particularmente a los países vías en desarrollo, ubicados en Africa, Asia y América.

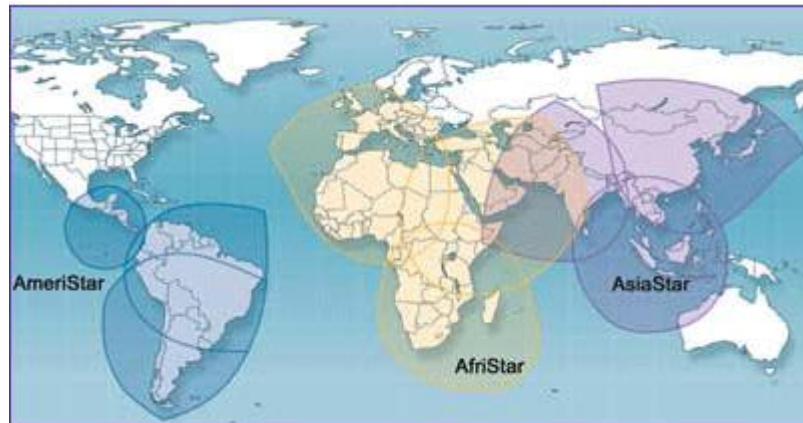


Figura 1-3. Mapa de cobertura del sistema Worldspace<sup>4</sup>

Los satélites transmiten en la banda asignada a la radiodifusión sonora digital por satélite (banda L), entre 1452 y 1492 MHz. Los receptores con unas dimensiones parecidas a los tradicionales radios multibanda, disponen de una pequeña antena plana con la que son capaces de recibir estas emisiones digitales con una calidad de audio parecida al CD.

La tecnología de difusión de audio digital, desarrollada por Worldspace se basa en las técnicas de compresión MPEG, permitiendo a cada difusor adaptarse al nivel de calidad deseado. Pueden transmitir desde 16 Kbit/s en mono hasta la calidad del CD audio, a 128Kbit/s.

El sistema tiene una capacidad para 432 canales de música en monofonía, 216 canales de sonido estéreo, o 108 canales de calidad CD. La zona de cobertura de los tres satélites comprende 123 países, con una población de 4.600 millones de habitantes. Miles de millones de personas en los países en desarrollo podrán recibir la radio digital directamente mediante transmisión por satélite.

A continuación se mencionarán algunos aspectos que hacen notar porqué existe preferencia por los sistemas terrestres:

- Pertenencia y control. La importancia del dominio y control es probablemente un factor clave que da preferencia a la infraestructura terrestre. La infraestructura de radiodifusión satelital es poseída por terceras partes y los radiodifusores deben pagar altos costos por la capacidad requerida en el segmento espacial.
- Costos. Los costos de establecimiento de la infraestructura de radiodifusión digital terrestre pueden ser comparables o menores que los costos de los sistemas satelitales.

---

<sup>4</sup> Tomado de <http://www.worldspace.com>

- **Movilidad.** La infraestructura de radiodifusión terrestre permite la difusión de señales a receptores móviles. Recibir señales fuertes de redes terrestres es generalmente mejor que de satélites.
- **Conexiones locales.** Las redes terrestres pueden ser extendidas en áreas geográficas aisladas o áreas locales. La mezcla de servicios puede ser hecha a la medida, en regiones específicas de ciudades. Mientras que en los sistemas satelitales se logran convergencias sobre largas zonas geográficas con relativa facilidad, esto es costoso e indeseable para incluir servicios que tienen una cobertura local y que ocupan capacidad del satélite que podría ser usada para servicios sub continentales o internacionales. Las redes terrestres son capaces de incluir servicios locales a bajos costos.
- **Penetración de construcciones.** Las señales terrestres consiguen buena penetración dentro de construcciones y facilitan la portabilidad del uso en casas. El ángulo de elevación del satélite y la relativa debilidad de la señal necesita la instalación de antenas de exteriores. El uso de los sistemas satelitales en interiores es por consiguiente restringido a la posición fija de los terminales de la antena. Los sistemas terrestres facilitan operación portátil dentro de interiores.
- **Expansión.** Los sistemas de radiodifusión digital permitirán la expansión y el crecimiento de redes terrestres como consecuencia del incremento de la demanda.

El Desarrollo de este trabajo no gira específicamente en torno a la radio AM (estándar DRM) o específicamente en torno a la radio satelital (estándar Worldspace) es por eso que no se profundizará acerca de estos estándares, sino que el estudio y desarrollo del proyecto giran en torno a los estándares Eureka 147 e IBOC también conocido como IDAB (Ibiquity DAB), a continuación se realiza un acercamiento a estas dos tecnologías, y se realiza un estudio más profundo acerca de ellas en los capítulos dos y tres respectivamente.

#### **1.2.4.1 IBOC (In band on channel)**

Este es un sistema que ofrece la ventaja de transmitir audio digital a través del espectro radioeléctrico actualmente asignado para FM (88 a 108 MHz) y para AM (535 a 1605 KHz). En Estados Unidos desde hace varios años se han estado realizando experimentos con el sistema IBOC. La autorización para iniciar sus emisiones en Estados Unidos se vió aplazada hasta marzo de 2002, por parte de la FCC porque a su juicio presentaba insuficiencias que debían ser corregidas, pero en este momento este sistema cuenta con la aprobación de la FCC.

Los sistemas IBOC típicamente toman la ventaja de la porción del espectro no usado por el servicio AM o FM, el cual está en los contornos de la portadora analógica (definida por la asignación de frecuencias como "máscara"), o implementa el reuso de frecuencias incluyendo una portadora adicional (o portadoras) en cuadratura a la portadora analógica existente. En cualquiera de los dos casos, las señales analógicas están contiguo a las señales digitales y se debe tener gran cuidado para prevenir interferencia indeseada entre ellas.

Una serie de pruebas de campo y laboratorio fueron conducidas por la EIA y el NRSC (copatrocinado por el EIA y el NAB), durante 1994-1996, periodo de la primera generación de sistemas IBOC, en la tabla 1-3 se puede observar un resumen del tipo de pruebas realizadas con estas tecnologías.

Tabla 1-3. Sistemas participantes en las pruebas hechas por el EIA/NRSC.

<b>Sistema</b>	<b>Tipo de banda</b>	<b>Laboratorio</b>	<b>Campo</b>
Eureka 147	Nueva banda terrestre/ banda L	✓	✓
Voa/jpl	Satélite/ banda S	✓	✓
At&t/Lucent	Iboc/ banda FM	✓	✓
At&t/Lucent/Amati	Iboc/ banda FM	✓	
Usadr FM -1	Iboc/ banda FM	✓	
Usadr FM-2	Iboc/ banda FM	✓	
Usadr AM	Iboc/ banda AM	✓	

De estos sistemas participantes cuatro fueron del tipo IBOC (tres FM y uno AM). Se demostró que los cuatros sistemas de la primera generación IBOC no eran aptos para desplegarlos como sistemas viables DAB, por varias razones, según las pruebas hechas por el EIA/NRSC. Como reacción a estos resultados los cuatros sistemas hicieron demostraciones de la excelente calidad de audio; un ambiente favorable y una evaluación hecha por uno de los proponentes (después de que la prueba fue completada) USADR (USA Digital Radio, inc.), sobre el sistema IBOC, así como también las correspondientes pruebas de datos, permitieron concluir que el concepto IBOC era válido, como contraposición a los resultados de las pruebas hechas por el EIA/NRSC.

En mayo de 1998, un nuevo proponente, Radio Digital de Lucent (LDR, Lucent Digital Radio), afiliado completamente a Lucent Technologies, anunció sus intenciones de desarrollar y mercadear tecnología IBOC AM y FM. Lucent había estado trabajando hasta febrero de 1998 con USADR sobre los desarrollos del sistema IBOC, pero ahora había decidido realizar esfuerzos de manera independiente. Sin embargo, en Julio de 2000 estas dos compañías, USADR y LDR se unieron nuevamente para formar Ibiqivity.

Algunos de los aspectos específicos de la nueva generación de sistemas IBOC, que esperan hacer la tecnología viable son los siguientes:

**Codificación de audio:** muchos de los problemas de compatibilidad encontrados en la primera generación fueron una consecuencia directa de la ocupación del espectro de estos sistemas (por ejemplo, la cantidad de ancho de banda requerida), la cual es proporcional a la cantidad de datos que van a ser transmitidos. Los avances hechos en las tecnologías de codificación de audio, desde el desarrollo de los sistemas de primera generación, han permitido el diseño de los sistemas de la próxima generación para obtener la calidad de audio deseada en un ancho de banda significativamente menor al utilizado por los sistemas probados por el EIA/NRSC.

**Compatibilidad de señal:** la más baja velocidad de bit usada por el flujo de datos de audio digital, posibilita hacer el ancho de banda más angosto, lo cual ayuda a aliviar los problemas de compatibilidad encontrados con los sistemas cercanos.

Diversidad de tiempo: uno de los métodos más directos para proveer una señal de radio menos susceptible a las interferencias y en especial al multitrayecto es el incremento del ancho de banda, método utilizado por el sistema Eureka junto con sofisticadas técnicas de procesamiento digital de señal, pero en el caso del sistema IBOC no es posible utilizarlo porque habría incompatibilidad con el ancho de banda actualmente asignado a las banda AM y FM, es por eso que se utiliza un método conocido como diversidad de tiempo que se basa en la característica de que el desvanecimiento por multitrayecto y los eventos de obstrucción de señales son relativamente de muy corta duración, del orden de 1 a 5 segundos. Análisis y simulaciones hechas por USADR indican que la degradación de las señales de audio por este tipo de interferencia puede ser virtualmente eliminada, aplicando la diversidad junto con el entrelazado y códigos de corrección de errores.

Servicios de datos: cada uno de estos sistemas tiene una portadora digital de datos empotrada.

Ibiquity Digital Corporation es la empresa a la cabeza de este sistema en este momento, tiene el apoyo de el NRSC (entidad muy respetada en el ámbito técnico), la NAB (organismo que agrupa a los empresarios de la radio y la TV en Estados Unidos) y la CEA (que representa a los fabricantes de artículos electrónicos). 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 equipos y de 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 (la productora de equipo más importante de Estados Unidos).

Este avance tecnológico ofrecerá nuevas posibilidades de radiodifusión sonora de calidad en onda larga, media y corta. Con la banda FM prácticamente congestionada y una mala calidad de la difusión AM, la radiodifusión AM digital tiene numerosas ventajas para lo radiodifusores que tratan de recuperar una parte del mercado, para los consumidores, esta decisión significa programas adicionales con calidad similar a la FM en receptores de bajo costo y de fácil utilización.

Como se utilizarán las mismas bandas de frecuencias en los mismos canales, y los receptores seguirán siendo los mismos (fijos, portátiles y móviles), el cambio al nuevo sistema será totalmente transparente. Lo que sí se notará, en cambio, es la calidad, mejorada con una recepción nítida, un contenido de programas más diversificado gracias a la mayor capacidad generada en las bandas AM existentes y una mayor riqueza de contenido gracias a la tecnología digital.

Las fases de implementación de IBOC son dos: la primera es la llamada híbrida en la que ambas transmisiones van a convivir y se va a sumar en forma gradual la información digital a su actual portador analógico.

La segunda etapa es 100% digital. En ella la transmisión analógica se eliminará por completo y los receptores serán totalmente digitales.

En las primeras estimaciones de la migración a la radio digital, la AM es la que se presenta como la más sencilla, más económica y con mayor impacto en la calidad. De acuerdo a las versiones más optimistas la AM se va a recotizar y los negocios de este sector van a tomar el mismo valor que los de la FM.

Los expertos aclaran: "La transición que va a tener la industria local será muy suave y poco agresiva entre los usuarios finales porque no tendrán que comprar un receptor diferente, con otra banda de frecuencia y otra relación de estaciones, sino simplemente eliminar la opción de la radio FM y AM".

#### **1.2.4.2 Eureka 147**

Es un estándar europeo, adoptado por el ETSI, su principal característica es que propone como banda de trabajo la banda L (1452-1492 MHz).

Este sistema es diseñado como una opción terrestre fundamentalmente, ya que no es óptimo para usar como una opción puramente satelital.

El sistema Eureka 147 para radiodifusión digital terrestre provee sincronización de transmisores operando en Redes de Frecuencia Única (SFN, Single Frequency Network). Esto asegura una gran eficiencia en la utilización del espectro de RF (Radio Frecuencia), dado que la misma frecuencia es usada a través de una red, la operación SFN también evitará la necesidad de sintonización que existe en FM.

Usa compresión MUSICAM (Masking Pattern Adapted Universal Subband Integrated Coding and Multiplexing) para no transmitir la información que no puede ser escuchada por el oído humano. Después de codificar y comprimir (método MUSICAM) la información de una señal de audio estéreo se puede transmitir a unos 192 Kbps, dado que la señal DAB es capaz de transportar 1,5 Mbps de información, se impone el multiplexar las señales comprimidas de varios MUSICAM (6 programas). Igualmente existe capacidad de transmitir otra información de servicio como puede ser el estado de carreteras, partes meteorológicos o emergencias. El resultado de toda la información empaquetada se llama "DAB ensemble".

La salida del multiplexor "DAB ensemble" también se llama Interfaz de Transporte del "Ensemble" (ETI, Ensemble Transport Interface). ETI es una interfaz de 2 Mbps.

Se emiten varios programas a la vez y servicios de datos, es posible enviar diferentes servicios a la vez, el sistema multiplexa las señales de diferentes transmisores en el mismo canal para cubrir con una única frecuencia un área geográfica.

En la transmisión analógica de audio la señal que llega al receptor en un canal multitrayecto se altera por diversos efectos físicos. Adicionalmente, en los receptores en movimiento se producen cambios de frecuencia y fase (efecto Doppler).

Para compensar estos problemas en la transmisión y otros se desarrolla la modulación Multiplexación por división de Frecuencia Ortogonal Codificada (COFDM, Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing), tanto en DAB como en la televisión digital terrestre.

La trama ETI se distribuye en 1536 portadoras (en modo 1), de tal manera que cada una de ellas está modulada en QPSK a la correspondiente baja velocidad. Las portadoras están colocadas de forma que una no influya en las demás. Como resultado el periodo de cada símbolo que se obtiene es considerablemente superior que cualquier retardo de señal.

Se introduce un intervalo de guarda para eliminar interferencias entre símbolos adyacentes. El receptor entonces encuentra una señal libre de interferencias. Además, como la información se distribuye entre varias portadoras, sólo algunas partes de la

información se destruirán si existen desvanecimientos selectivos de frecuencia, mientras que en métodos de portadora única toda la información se perdería. Esta información perdida se podría recuperar por la información recibida con la ayuda de los métodos de corrección de errores.

Una ventaja adicional de la señal COFDM es que se puede transmitir en redes de una sola frecuencia un número determinado de programas. Esto es posible porque el máximo retardo de la señal resultante de la distancia al transmisor es más corto que el intervalo de guarda.

Teniendo presente que la señal modulada en COFDM consiste en un gran número de portadoras espaciadas por intervalos de guarda y a su vez moduladas en QPSK O QAM, vista en un osciloscopio la señal COFDM es muy parecida a una señal de ruido con una gran amplitud pico resultado de la suma de las portadoras individuales. La relación entre la potencia pico y la potencia media de la señal está, por ejemplo, entre 8 y 10 dB para DAB.

El amplificador del transmisor debe ser capaz de transmitir una potencia pico con una extremada linealidad, si no fuera así, aparecerán productos de intermodulación dentro y fuera de la señal DAB. Los productos de intermodulación dentro de banda degradan la relación S/N y además provocan interferencias con otros servicios.

Además de audio se transmiten informaciones diversas como fecha y hora, radiobúsqueda, avisos de emergencia, información de tráfico, sistema de posicionamiento global, títulos musicales, autor, imágenes, textos, etc. Todos ellos a velocidades entre 8 y 38 Kbps.

Para disfrutar de la DAB se necesitan receptores especiales, con unos costos elevados por el momento, ya no se tendrá el dial al que se está acostumbrado y por el contrario se tendrá un menú de servicios para seleccionar el audio o los datos que se deseen.

### **1.2.5 Cobertura del DAB en el mundo**

La radio digital está experimentando un crecimiento sostenido en los principales mercados europeos. Aunque Reino Unido continúa liderando el impulso de la radiodifusión de nueva generación, España, Suecia y Alemania se presentan como los mercados que con más fuerza están apostando por la nueva tecnología.

A continuación se podrá observar el crecimiento que está teniendo la radio digital en el mundo, según estudios realizado por el World DAB Forum<sup>5</sup>.

**Alemania.** Aunque las pruebas comenzaron en 1995, sólo se puede hablar de una verdadera implementación a partir de 1999. Actualmente alcanza una cobertura del sesenta por ciento de la población. Este país ha previsto una imposición de apagón analógico, todas las radios emitirán en digital, para el año 2010.

**Australia:** (01/03/2002). En Diciembre de 2001 las autoridades Australianas de radiodifusión convinieron soportar las aplicaciones de la industria comercial de radio para comenzar las pruebas de radio digital en Sydney.

---

<sup>5</sup> El World DAB Forum es una organización internacional no gubernamental, representa los intereses de más de cien compañías y organizaciones de todas las áreas de la industria de la radiodifusión, su objetivo es coordinar la implementación de los servicios de radio digital basados en el Sistema Eureka 147.

La respuesta del gobierno es valerse de la posición de la industria, que cuenta con una fase de desarrollo la cual establece el caso de negocio para la radio digital y la cual realizó una prueba de la tecnología que permite la convergencia en los sectores rurales y urbanos del país. Varios fabricantes de receptores han expresado interés en participar en esta fase de desarrollo para ayudar a probar la tecnología y la aceptación del consumidor.

Las pruebas del estándar Eureka 147 han sido conducidas desde Junio de 1999 por el grupo DR2000. Las pruebas comprenden a dos transmisores de redes de frecuencia única localizados en Sydney. La red transporta el contenido de cuatro redes: Austereo, ARN, Racing Radio y el ABC.

**Austria:** (01/08/2001). Hay actualmente un multiplexor operando con tres transmisores en Viena, cubriendo toda la ciudad, aproximadamente 1.5 millones de personas.

Se otorgaron licencias de prueba a término de dos años en los estados federales de Tyrol y Vorarlberg el 17 de Abril de 2000. Actualmente cuentan con dos transmisores DAB en Tyrol.

**Bélgica:** (01/03/2002). La Radio Digital se lanzó en Bélgica en Septiembre de 1997 con un multiplexor impulsado por la difusora VRT (Vlaamse Radio en Televisie). En el 2001, la VRT tenía un multiplexor que permitía el cubrimiento del 98% de los habitantes de Flandes (previendo ascender al 100% este año) y la difusora pública francesa, el RTBF, tiene un multiplexor cubriendo el 98.5 de la comunidad francesa.

La VRT transporta siete estaciones de audio, RTB transporta cinco estaciones de audio, con más transmisiones simultáneas de las existentes estaciones analógicas. La VRT transporta también algunos servicios de datos los cuales son brindados por una compañía pública de transporte.

**Canadá:** (01/12/2001). Hay 57 licencias de estaciones DAB de las cuales 24 están en Toronto (20 comerciales y 4 públicas), 15 en Vancouver, 12 en Montreal y 6 en Windsor. Las estaciones que operan en esos cuatro sitios proveen servicios aproximadamente a 10 millones de potenciales oyentes, 35% de la población.

La General Motors de Canadá afirma que comenzará a introducir la tecnología DAB sobre los automóviles Canadienses convirtiéndose en el primer fabricante de autos equipados con receptores DAB para los modelos 2003.

**China:** (06/02/2002). Inició las pruebas de DAB en 1995. La primera red de radio digital con una sola frecuencia llevó a cabo pruebas y demostraciones el 15 de diciembre de 1996 en Foshan (China). La SFN está formada por tres emisoras situadas en Guangzhou, Foshan y Zhongshan, en la provincia de Guangdong, adyacente a Hong Kong y una de las regiones más desarrolladas de China. El proyecto es el resultado de la cooperación entre China y la Comisión Europea. Se cree que la próxima red de radio digital se establecerá en la zona de Pekín-Tianjin

**Croacia:** (08/2000). Croacia Radio Televisión (HRT), la más grande cadena de radio en Croacia, inició las transmisión DAB en Septiembre de 1997. Mas de 1.2 millones de personas están listas para recibir transmisiones DAB sobre el canal 12 VHF. HRT intenta extender la cobertura del servicio siguiendo la penetración del mercado de receptores DAB.



**Checoslovaquia:** (08/2000). El grupo de trabajo de Radiodifusión Digital, conocido como la SDV (Skupina Digitalniho Vysilani), recientemente se estableció en la Republica Checa y está ofreciendo radio y televisión digital. Ceske Radiokomunikace, la mayor proveedora de redes de transmisiones de televisión en la república Checa, y Czech Radio, la cadena radial pública, comenzaron a experimentar servicios de DAB en Praga en marzo de 1999. La zona urbana de Praga es cubierta por la señal DAB lo cual representa aproximadamente el 12% de la población de la República Checa.

**Corea del Sur:** (31/01/2002). El MIC (Ministry of Information and Communication - Ministerio de Información y de Comunicación) anuncio el 31 de Octubre de 2001 que el KBS (Korea Broadcasting System - Sistema de difusión de Corea) implementaría una prueba piloto del servicio DAB, usando el estándar Eureka 147 a principios del año 2002.

**Dinamarca:** (01/08/2002). El comienzo oficial de la transmisión DAB data del diez de octubre de 2002, con diez transmisores se tiene una cobertura del 65 % de la población.

**España.** (01/08/2001). La pruebas piloto comenzaron en 1998 y actualmente hay una mezcla de radiodifusión pública y comercial con 18 estaciones transmitiendo digitalmente.

**Estados Unidos.** Aunque reconoce las ventajas del estándar europeo de radio digital, el mercado ha apostado por digitalizar primero la FM y mantener el actual equilibrio del mercado de la radio local dentro de sus fronteras. Existe una mayor concientización de que en los próximos diez años la radio digital llegará por diversos soportes: la señal de frecuencia modulada, los satélites y el cable Internet.

**Finlandia:** (28/01/2003). En mayo de 1999, la primera parte de las redes nacionales de DAB fueron lanzadas por la difusora publica YLE con 10 transmisores (ascendieron a 11 desde el 29 de Noviembre de 2001), cubriendo 2 millones de personas (aproximadamente 40% de la población de Finlandia). Un mes mas tarde, el primer multiplexor regional fue instalado para dar cobertura a 1.2 millones de personas. YLE actualmente realiza transmisiones simultáneas en 5 canales y tiene 24 nuevos servicios.

**Francia:** En Junio de 1997, TDF (TéléDiffusion de France - Teledifusión de Francia) estableció las primeras transmisiones de DAB en Paris. TDF está difundiendo 13 programas DAB sobre dos multiplexores en la capital de Francia, un tercer multiplexor con 5 programas es operado por TowerCast. Esos transmisores cubren alrededor de 10 millones de personas en la gran área de Paris, aproximadamente al 17% de la población de Francia.

Entre tanto, las redes DAB han sido también lanzadas en las ciudades de Lyon, Marseille, Nates y Toulouse. Hay tres multiplexores en el aire en cada una de las ciudades, transportando entre 4 y 7 servicios cada uno.

**Alemania:** Aproximadamente el 65% de la población y área están cubiertas y más de 16 Estados Federales, han lanzado servicios DAB. Hay más de 100 estaciones al aire.

**Hong Kong:** Radio Televisión de Hong Kong (RTHK) lanzó una prueba de DAB en agosto de 1998. Los resultados sirvieron como una base para futuros desarrollos de

los servicios de la DAB terrestre alrededor de Hong Kong. RTHK lanzó una tienda para suministrar equipos que operan en la banda L a mediados de enero de 1998.

**Hungría:** La radiodifusora pública de Hungría, Radio Húngaro, comenzó transmisiones experimentales de DAB en Budapest utilizando transmisores de 250W. Los servicios comenzaron el primero de Diciembre de 1995 y coincidieron con los 70 años de la radiodifusora. Los multiplexores contenían tres programas domésticos y un programa especial de alta calidad que llegó a tres millones de personas. Varios servicios de datos serán incluidos en el futuro cercano y un segundo transmisor fue instalado cubriendo 20% de la población. Ambos transmisores están entregando cobertura DAB a aproximadamente el 60% de la población de Hungría.

**India:** Esta es otra nación que ve al sistema Eureka 147 como la radio del futuro. Los radiodifusores públicos, comenzaron estudios preliminares y experimentos hace algún tiempo atrás y establecieron un sistema de pruebas para transmisiones DAB en Nueva Delhi.

**Inglaterra.** Está funcionando desde 1995 y cubre más de la mitad del territorio.

**Irlanda:** RTE lanzó 6 servicios de prueba del sistema DAB en Dublín el 15 de noviembre de 1999. Sin embargo, aunque la red permanece aún en Dublín, RTE detuvo sus emisiones mientras espera la producción de receptores a más bajo costo.

**Israel:** Bezeq, la corporación de telecomunicaciones Israelí, ha estado dirigiendo transmisiones DAB desde 1996, usando el canal 12/VHF. Hay actualmente cinco transmisores cubriendo aproximadamente el 85 % de la población de Israel.

**Italia:** En 1995, RAI, la difusora pública italiana, introdujo el primer servicio DAB sobre el canal 12 de VHF en el valle Aosta bajo una configuración SFN. En 1998, el parlamento italiano aprobó una nueva ley de telecomunicaciones que provee la regulación básica para la introducción del DAB. Solamente los existentes radiodifusores en FM pueden recibir una licencia para radio digital. Esas licencias serán libres de cargo hasta el 2007. Actualmente se encuentra en estudio otra ley que entraría a regular la transmisión de difusiones analógicas o digitales de radio y televisión.

**Japón:** Después de revisar las alternativas de los sistemas de radiodifusión digital incluidas en el estándar Eureka 147, los japoneses ha decidido usar una solución nacional llamada ISDB - T (Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting - Radiodifusión Digital Terrestre de Servicios Integrados ). Esta es una tecnología para radiodifundir tanto radio como televisión en banda ancha o banda angosta. Utiliza tecnología de codificación COFDM, el mismo sistema que fue desarrollado por DAB. Los servicios ISDB - T se espera que estén disponibles en Japón para el año 2007, hasta el momento, ningún otro país ha optado por la tecnología ISDB. Mas recientemente, Singapur eligió el estándar Eureka 147 sobre el ISDB- T después de una intensiva evaluación de los estándares existentes de radiodifusión digital.

**Malasia:** (08/2000) un diseño preliminar nacional del plan del espectro DAB para Malasia fue presentado en Singapur y Brunei. Un proyecto piloto comenzó en 1998.

**México** - El gobierno mexicano y los radiodifusores han creado conjuntamente la Comisión Permanente para la Radiodifusión Digital con el fin de dirigir la introducción en México de la radio digital en los próximos años. La Comisión tratará de resolver la

disputa actual sobre el sistema que se adoptará. Las dudas están entre utilizar el Eureka 147 de banda L, apoyado por canadienses y europeos o el sistema IBOC (utilización simultánea de las bandas AM y FM) apoyado por Estados Unidos.

**Portugal.** (28/01/2003). El radiodifusor público RDP comenzó una radiodifusión piloto en Enero de 1998. Hay 29 transmisores en uso, 24 en el continente, tres en Azores y dos en Madeira, cubriendo el 75 % de la población y casi la mitad del área del país.

**Singapur.** (06/02/2002). Los servicios de radio digital regular, fueron lanzados el 19 de noviembre de 1999, siendo Singapur el primer país en el mundo capaz de proveer servicios DAB a nivel nacional.

**Taiwán.** (01/03/2002). El 24 de enero de 2001, la Oficina General de Telecomunicaciones de Taiwán propuso comenzar una prueba piloto usando el sistema Eureka 147, utilizando cinco canales en la Banda III.

## 2. SISTEMA EUREKA 147

### 2.1 GENERALIDADES

El consorcio Eureka 147 apoyado por la Unión Europea de Radiodifusión (EBU, European Broadcasting Union), desarrolló un sistema de radiodifusión digital que lleva su nombre. Este sistema, proporciona una alta calidad en la radiodifusión sonora digital, a la vez que permite la transmisión de los programas de audio, más los datos asociados a éste o la transmisión de servicios independientes de datos.

Eureka DAB es un sistema de radiodifusión digital multiservicio diseñado para la recepción en receptores móviles, portátiles o fijos con una antena simple no direccional. El sistema puede operar a cualquier frecuencia desde los 30 MHz hasta los 3 GHz. Se puede utilizar en redes de radiodifusión terrestres, por satélite, híbridas (satélite con transmisiones terrestres auxiliares) y en redes cableadas. Las emisiones terrestres de radio digital se denominan DAB Terrestre (T-DAB, Terrestrial DAB), mientras que a las emisiones vía satélite se les denomina DAB Satelital (S-DAB, Satellital DAB).

- **Bandas de Frecuencias.** En general, todos los rangos de frecuencias de VHF y UHF son, en un principio y desde un punto de vista técnico, adecuados para las emisiones de radio digital terrestre (T-DAB). El problema que se plantea es que estas frecuencias son utilizadas por señales analógicas de radio (FM), de televisión y por otros servicios. Esto supone la necesidad de replantear las asignaciones de frecuencia de los distintos servicios existentes para permitir la introducción del DAB Eureka.

Para solucionar el problema de la saturación espectral de las bandas VHF/UHF, en la Conferencia Mundial Administrativa de Radiocomunicaciones, celebrada en 1992 en Málaga-Torremolinos, (WARC-92, World Administrative Radio Conference) se estableció la banda de frecuencias entre 1452MHz y 1492MHz (Banda-L) para los servicios de radiodifusión sonora digital por satélite (S-DAB) y para servicios complementarios de radiodifusión sonora digital terrestre (T-DAB) para la gran mayoría de los países (para Estados Unidos, India, Rusia y algunos países de Asia, se establecieron las bandas de 1.5 GHz, 2.3GHz y 2.6GHz). En esta misma conferencia se definieron las frecuencias para la radiodifusión sonora digital en la banda de VHF.

El sistema de radiodifusión digital gira en torno a dos elementos tecnológicos, uno relacionado con la compresión y otro con la modulación, éstos son:

- **Algoritmos de compresión.** Utiliza técnicas avanzadas de compresión de audio digital (MPEG-1/2 Audio Layer II) que permiten una gran optimización en el uso del espectro.

- Esquema de modulación. Está basado en un sistema multiportadora, conocido como COFDM. Este tipo de modulación proporciona unas características de transmisión digital de gran capacidad para la recepción en entornos móviles, portátiles y fijos, especialmente en situaciones de multitrayecto.

El sistema de codificación de canal y modulación aporta una gran robustez frente a interferencias por propagación multitrayecto. La eficiencia espectral se ve ampliada gracias a la posibilidad de establecer redes de transmisión en frecuencia única que permiten ofrecer coberturas mediante el uso de varios transmisores, donde todos trabajan a la misma frecuencia.

Este sistema permite transmitir un flujo binario total de 2.304 Mbps (hasta 1,8 Mbps de flujo útil sin protección contra errores). Este flujo total, una vez modulado, ocupa un canal de radiofrecuencia con un ancho de banda de 1.536 MHz. El canal de una señal DAB recibe el nombre de "bloque".

## 2.2 RED DAB

En la figura 2-1 se muestra una red DAB de forma general.

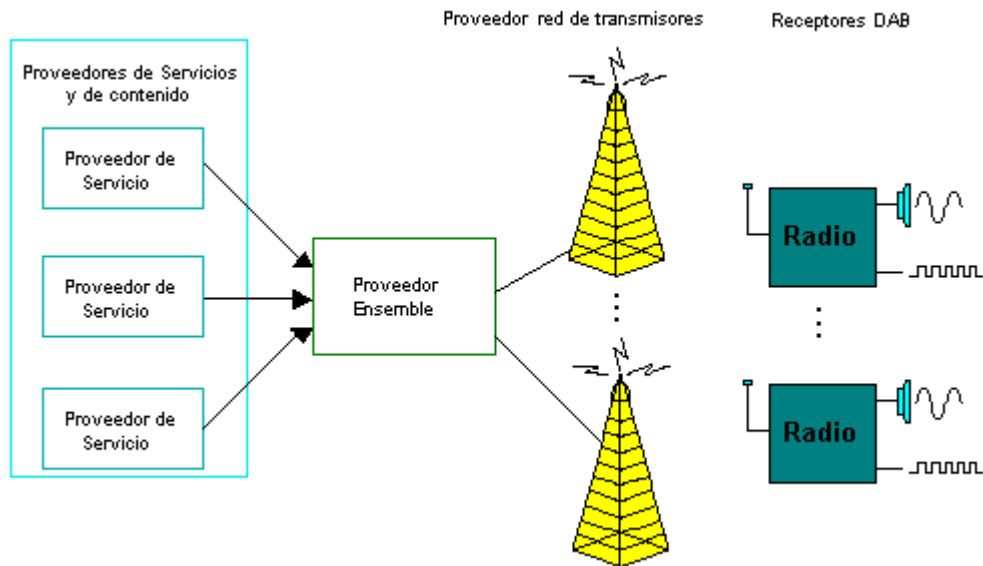


Figura 2-1. Red DAB

El **proveedor de servicios** será el encargado de generar el contenido de los programas y aplicaciones de datos a transmitir. Los proveedores de servicios se pueden dividir en dos grupos:

- Proveedores de servicios, cuyo contenido es audio con o sin salida adicional de datos relacionados con el programa.
- Proveedores de servicio sólo de datos, quienes podrían generar, páginas web y otro tipo de datos para grupos cerrados de usuarios.

El **proveedor Ensemble** se comporta como una pasarela del proveedor de servicio al oyente. Además tiene un estricto control en cuanto a quien tiene acceso a él y quien no. Es el encargado del proceso de multiplexación.

Cada entrada al múltiplex es considerada como una entrada reservada. El multiplexor asegura que se mantendrá la calidad del servicio de radiodifusión.

**Proveedor de transmisores.** Típicamente la provisión del servicio de transmisión es sub-contratada por el operador multiplex. La variedad de topologías de red que se pueden construir en un sistema DAB, implican que además de las actividades de planeación de frecuencia tradicionales, el operador del transmisor debe también gestionar una red de distribución primaria (desde el multiplexor ensemble a los sitios transmisores).

Además, debido a la operación de SFN, que es posible a la modulación COFDM, el operador del transmisor necesita controlar su red tanto en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia.

**Receptores.** Se debe tener en cuenta que la recepción puede ser fija, portátil o móvil. Existen cuatro tipos básicos de receptores<sup>6</sup>:

- Receptor de carro, sólo de audio, con un despliegue, típicamente de 16x2 cm.
- Receptor de carro, de audio y de datos con una pantalla LCD a color.
- El PC como receptor.
- Receptores de alta frecuencia, con un despliegue, típicamente de 16x 2 cm con una pantalla LCD a color.

Siendo más específicos una red DAB se compone de:

- Centro de contribución.
- Red de transporte.
- Centros de difusión.

### **2.2.1 Centro de contribución**

Este es el lugar donde se genera todo el contenido que será posteriormente difundido, tanto contenido de audio, como información propia del sistema.

En este centro se genera la trama digital para DAB, ésta ha sido normalizada por el EBU en distintos documentos publicados por el Instituto Europeo de Estándares para las Telecomunicaciones (ETSI, European Telecommunications Standards Institute). En el centro de contribución se genera la trama ETI<sup>7</sup> (Ensemble Transport Interface) a

---

<sup>6</sup> Entre los principales fabricantes de receptores para este sistema se encuentran: Alpin, Bosh, Clarion, Delphi, Grunding, JVC, Terratec, Arcam, Cambridge Audio, Sony, TAG, Pure Digital.

<sup>7</sup> La ETI se encuentra normalizada en la ETS 300799, ver anexo A.

partir de las diferentes contribuciones de audio y datos que contiene los siguientes tipos de información:

- Audio.
- Datos asociados al programa (PAD, Programm Associated Data).
- Información de Servicio (SI, Service Information).
- Datos de configuración de la propia trama.

En la figura 2-2 se puede observar los bloques que componen un centro de contribución.

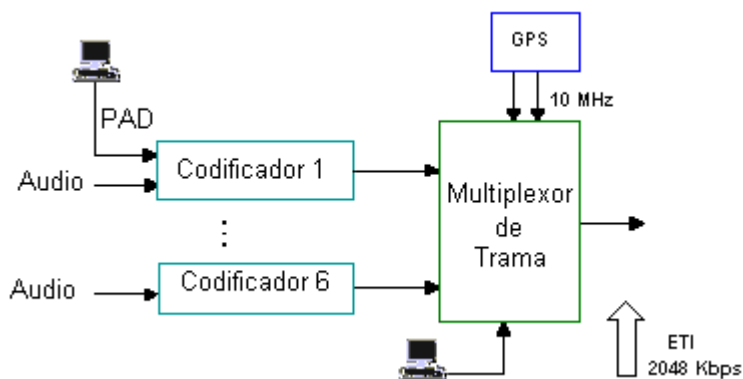


Figura 2-2. Centro de Contribución

- Codificador. Este equipo se encarga de generar uno de los programas de la trama ETI. Para ello recibe la información de audio y el PAD del programa y entrega como salida una trama cuyo régimen binario de salida depende de la configuración del equipo.
- Multiplexor de trama. Este equipo se encarga de recibir los 6 canales que componen el múltiplex y generar a partir de los mismos la trama ETI, que posteriormente será transportada a lo largo de la red para ser difundida.

El funcionamiento global de la cadena de compresión es el siguiente:

Cada uno de los 6 programas analógicos del múltiplex se introduce a un codificador. Cada codificador aporta una parte del total de la trama de 2.048 Kbps (mediante una conexión en cascada), de modo que la salida de cada codificador no exceda una tasa binaria de 384 Kbps.

Además de la información de audio, uno de los codificadores posee una entrada de datos PAD, insertados vía software.

### 2.2.2 Red de transporte

Esta parte de la red está compuesta por todos los sistemas encargados de llevar la trama ETI desde su fuente de origen, centro de contribución, a su destino, centro de difusión. Para realizar esto, es posible utilizar una gran variedad de sistemas de

comunicaciones, redes locales (LAN), radioenlaces, enlaces vía satélite, líneas punto a punto. En cada uno de estos sistemas de comunicación la señal puede ir sufriendo algunas modificaciones que sirven para adaptarla al medio de transmisión, todos estos cambios en la señal deben ser totalmente transparentes de tal modo que al final de la red de transporte se tenga nuevamente la señal original, es decir, la trama ETI.

### **2.2.3 Centros de difusión**

Son los encargados de recibir la señal generada en el centro de contribución, a través de la red de transporte y realizar todos los procesos necesarios para su radiodifusión (modulación, amplificación, etc). Este es el último eslabón de la red, hace posible la comunicación con los usuarios de ésta mediante un receptor adecuado.

## **2.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DAB**

El sistema DAB está diseñado para transportar varias señales de audio digital junto con señales de datos. Las señales independientes de audio y de datos se consideran componentes de servicio y son agrupadas para formar servicios de valor agregado a los servicios de audio mediante el envío de datos junto con las señales de audio.

Como se puede observar en la figura 2-3, el sistema DAB es básicamente un sistema de multiplexación de diferentes canales de datos. Cada señal DAB se denomina Multiplex o Ensemble ("bloque") y está constituido por varios canales de audio digital comprimido, canales de datos de propósito general, que pueden transmitirse de manera "abierta" o encriptados con diferentes sistemas de acceso condicional. A estos canales se les añade protección contra errores por codificación convolucional y entrelazado en el tiempo (time interleaving), a los cuales después de añadirles señales de sincronización, se les aplica modulación de canal COFDM.

### **2.3.1 Mecanismos de transporte**

La información transmitida por el múltiplex DAB, que ofrece una capacidad total de 2,048 Mbps, se estructura en tres canales denominados:

- El canal de información rápida (FIC, Fast Information Channel).
- El canal principal de información (MSC, Main Service Channel).
- El canal de sincronización.

Cada canal suministra datos de diferentes fuentes para formar una trama de transmisión.

En la figura 2-4 se puede observar los campos que componen la trama de transmisión<sup>8</sup>.

La transmisión en el sistema DAB se realiza mediante la emisión constante de la trama de transmisión. La estructura de esta trama está íntimamente relacionada con el

---

<sup>8</sup> En el anexo A se describen de manera detallada los campos que conforman la trama de transmisión.



modo de transmisión elegido para el sistema pero la estructura global de esta trama se mantiene en los distintos modos.

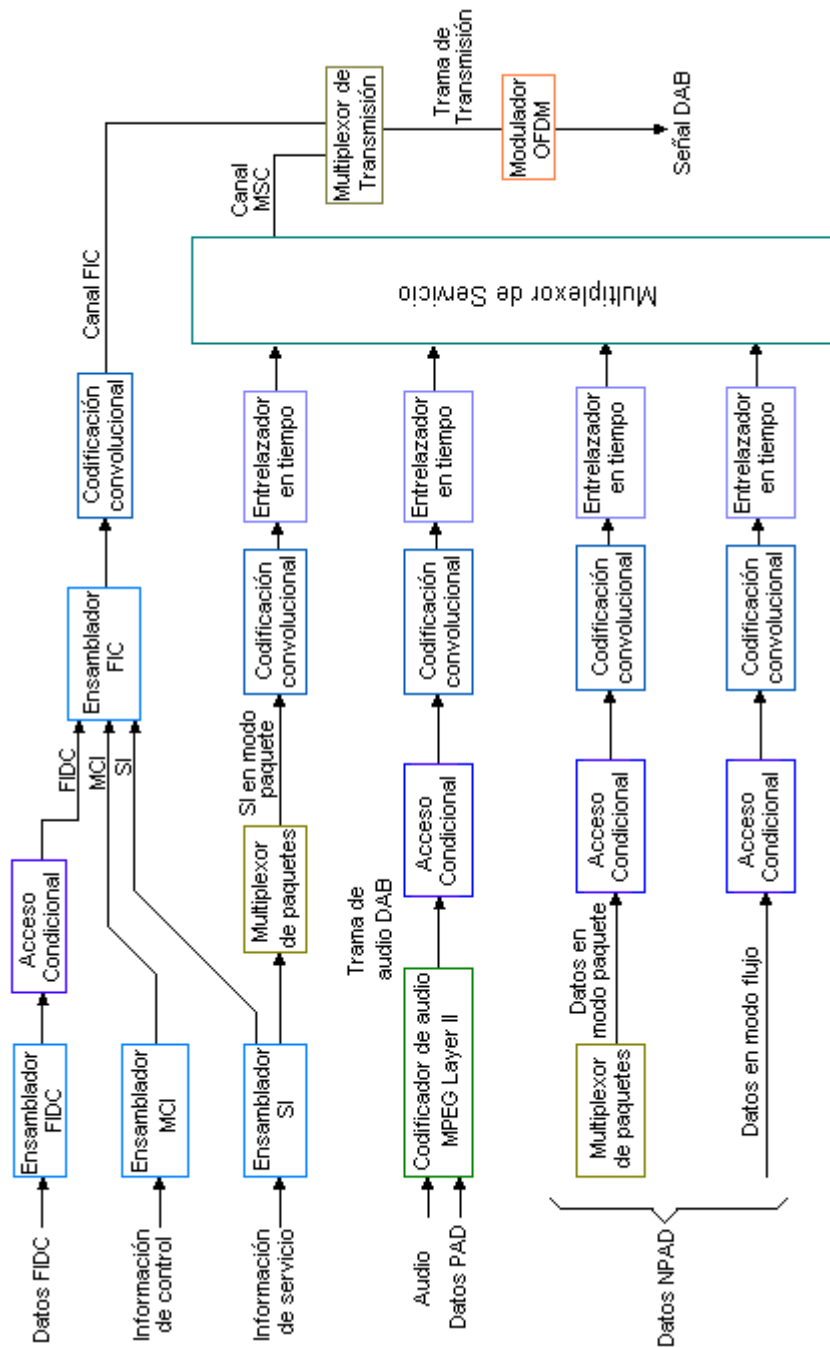


Figura 2-3. Sistema DAB<sup>9</sup>

La función primaria del **FIC**, el cual está constituido por los bloques de información rápida (FIB, Fast Information Block), es transportar información de control necesaria

<sup>9</sup> Tomado de la norma ETS 300401

para que el receptor pueda interpretar la configuración del MSC y pueda demultiplexarlo. La parte esencial de esta información de control es la configuración de la información del Multiplex (MCI, Multiplex Configuration Information), la cual contiene información sobre la estructura del Multiplex y, cuando es necesaria una nueva configuración. El FIC permite que el receptor acceda a la información de la trama de forma rápida. Otros tipos de información que pueden ser incluidos en el FIC son Información del Servicio (SI), la gestión de información del acceso condicional (CA) y el canal de datos de información rápida (FIDC). Con el fin de permitir una respuesta rápida y segura para el MCI, el FIC se transmite sin entrelazado en tiempo, pero con un alto nivel de protección contra los errores de transmisión.

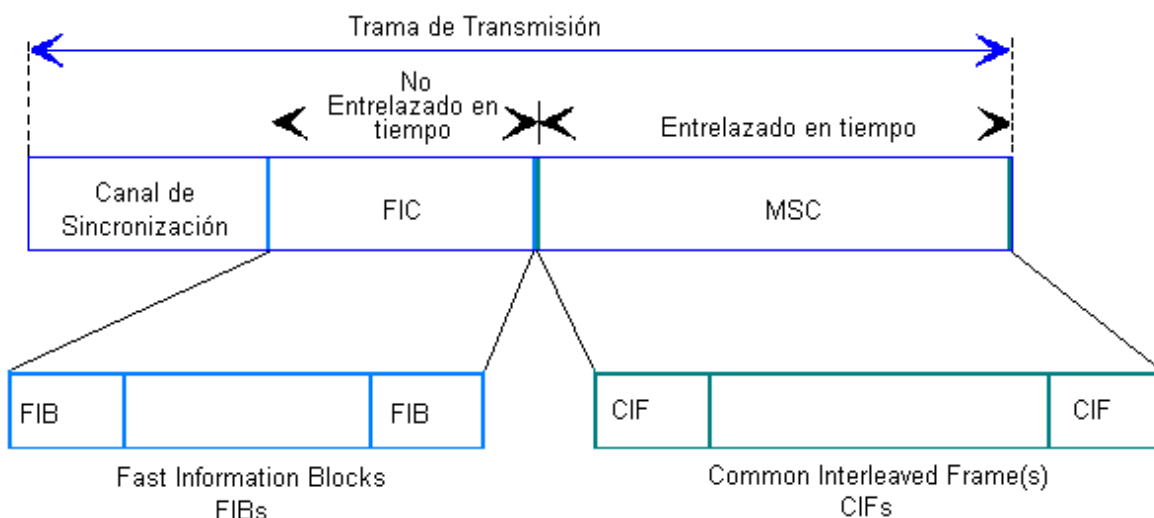


Figura 2-4. Trama DAB

El MSC está constituido por una secuencia de Tramas de Entrelazado Común (CIF). Una CIF es un campo de datos de 55.296 bits, transmitido cada 24 ms. La unidad más pequeña accesible para una dirección del CIF es la unidad de capacidad (CU, Capacity Unit), cuyo tamaño es 64 bits. Un número de CUs se agrupa de manera conjunta para constituir la unidad de transporte básica del MSC, llamada un sub-canal. El MSC constituye por consiguiente un múltiplex de sub canales, los cuales están individualmente codificados convolucionalmente, con diferente protección.

El MSC se utiliza para transportar los componentes de servicio de audio y datos (PAD y NPAD). Cada sub canal puede transportar uno o más componentes de servicio. La organización de los sub canales y componentes de servicios se llama configuración del múltiplex.

Para componentes de servicios en el MSC, se definen dos modos de transporte diferentes, el modo flujo (también denominado modo ráfaga) y el modo paquete.

- El modo flujo provee una transmisión transparente de la fuente al destino con una tasa de bits fija en un subcanal dado. Se transmite un único componente de servicio por subcanal.
- El modo paquete está definido para transportar varios componentes de servicios de datos dentro de un solo subcanal.

El **Canal de Sincronización**, se usa internamente en el sistema de transmisión para las funciones básicas de los demoduladores, tales como sincronización de tramas de transmisión, estimación del estado del canal e identificación de transmisión.

El canal de sincronización está formado por los dos primeros símbolos OFDM de cada trama de transmisión:

- Primer símbolo. Se incluye el símbolo nulo, que se usa para sincronizar los receptores. Además, opcionalmente se podría incluir la información de identificación del transmisor (TII, Transmitter Identification Information).
- Segundo símbolo. En éste se emite la fase de referencia para efectuar el proceso de demodulación QPSK.

La organización y duración de una trama depende del modo de transmisión. El bloque de información rápida (FIB) y la trama de entrelazado común (CIF) se introducen para proveer modos de transmisión independientes de los paquetes de datos transportados asociados con el FIC y el MSC respectivamente.

Los principales bloques de datos de la trama con los tipos de información que pueden incluirse en los mismos se listan a continuación:

- Datos de Control del Múltiplex (MCI, Multiplex Information Configuration). En este bloque se difunden los datos de control necesarios para demultiplexar la trama de audio así como los servicios que incluye. Así se definen:

La organización de los subcanales, posición tamaño y protección.

La lista de todos los servicios de la trama.

Los enlaces entre los servicios y sus componentes.

Los enlaces entre los componentes de servicio y los subcanales.

Los datos necesarios para la demultiplexación.

- Canal de datos de información rápido (FIDC). En este bloque se distribuyen datos de forma rápida, esto se consigue al no realizarse el entrelazado en el tiempo en el FIC (Fast Information Channel) que es la parte de la trama donde se transportan estos datos.
- Información de Servicio (SI). En este bloque se difunde información suplementaria de los servicios. Se pueden incluir anuncios, información de frecuencia, por ejemplo la frecuencia asociada al servicio en FM, idioma, etiquetas de los programas.
- Servicio de programas de audio. En esta parte se incluye la información de sonido de cada programa.
- Datos asociados al programa PAD. Este tipo de datos se encuentran relacionados con un canal de audio, puede tratarse de la letra de las canciones, títulos, autores, etc.

- Servicios de datos en general. En este bloque se pueden transportar cualquier tipo de datos. Dichos datos se denominan Datos no Asociados al Programa (NPAD, No Programme Associated Data).

### 2.3.2 Modos DAB

Para el sistema DAB se han definido cuatro modos de transmisión, éstos definen ciertos parámetros que regulan, por ejemplo: el número de portadoras, duración de la trama de transmisión, número de bloques FIB por trama, número de símbolos por trama, etc.

En la tabla 2-1 se muestran los parámetros que se definen para cada uno de los modos.

Tabla 2-1. Parámetros definidos en los diferentes modos de transmisión

Parámetro	Modo I	Modo II	Modo III	Modo IV
L	76	76	153	76
K	1536	384	192	768
T <sub>F</sub>	96 ms	24 ms	24 ms	48 ms
T <sub>NULL</sub>	1,297 ms	324 μs	168 μs	648 μs
T <sub>s</sub>	1,246 ms	312 μs	156 μs	623 μs
T <sub>u</sub>	1 ms	250 μs	125 μs	500 μs
Δ	246 ms	62 μs	31 μs	123 μs
1/ T <sub>u</sub>	1 KHz	4 KHz	8 KHz	2 KHz
D	96 Km	24 Km	12 Km	48 Km

L: Número de símbolos OFDM por trama de transmisión.

K: Número de portadoras.

T<sub>F</sub>: Duración de la trama de transmisión.

T<sub>NULL</sub>: Duración del símbolo nulo.

T<sub>s</sub>: Duración del símbolo OFDM.

T<sub>u</sub>: Duración del símbolo útil.

Δ: Duración del intervalo de guarda.

1/ T<sub>u</sub>: Espaciamiento entre portadoras.

D: Distancia máxima nominal entre transmisores.

Los modos se utilizan dependiendo del tipo de red que se desee implementar.

**Modo I.** Se recomienda para Redes de Frecuencia Única por debajo de 300 MHz.

**Modo II.** Se recomienda para redes SFN en la banda L o para redes híbridas de satélite y terrestres.

**Modo III.** Es apropiado para satélite, por tener mayor separación entre las portadoras.

**Modo IV.** Este modo fue añadido posteriormente para establecer redes SFN en banda L que permitieran mayor separación entre transmisores, o lo que es lo mismo, con mayor intervalo de guarda.

La mayor separación entre portadoras hace que el sistema se comporte mejor ante el efecto Doppler, por esto, el tercer modo es el más robusto ante dicho efecto.

El operador en el momento de establecer el servicio debe asignar el modo de transmisión que empleará para difundir el múltiplex.

### 2.3.3 Codificación de audio

El sistema DAB emplea un sistema de codificación denominado MUSICAM (Masking Pattern Adapted Universal Subband Integrated Coding and Multiplexing) que tiene correspondencia con la capa o nivel II del sistema de codificación MPEG (Moving Pictures Expert Group ).

No se debe olvidar que la compresión es necesaria para transmitir grandes cantidades de datos en un ancho de banda espectral lo mas reducido posible.

La organización Internacional de Estandarización (ISO, International Standard Organization) preparó una norma sobre las señales de audio y video y su almacenamiento digital; el subgrupo de audio MPEG fue el responsable de elaborar una norma para la codificación genérica de señales de audio PCM (Pulse Coded Modulation) con distintas velocidades de muestreo, que dio lugar a la norma MPEG1 con tres capas de complejidad diferente para aplicaciones distintas.

MPEG2 está normalizada por : ISO 13818-1 (MPEG2 System), 13818-2 (MPEG2 Video), 13818-3 (MPEG2 Audio).

Lo importante de la norma es que no exige como construir el codificador o decodificador. Esto queda a criterio del fabricante, exige sólo cumplir con los parámetros del TS (Transport Stream) fijados por la norma, esto se ilustra en la figura 2-5.

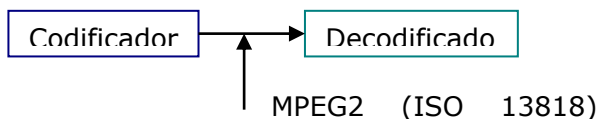


Figura 2-5. Normas ISO utilizadas en el MPEG

Entre las distintas capas propuestas en la norma MPEG, la capa II fue elegida para el sistema DAB, después de realizar las respectivas pruebas.

En primer lugar se desarrolló la norma MPEG-1 que en su segunda capa define el sistema de codificación de señales de audio PCM, muestreadas con distintas frecuencias de muestreo (32, 44,1 y 48 KHz), empleándose tasas binarias que van

desde los 32 a los 384 Kbps dependiendo de si el canal es monofónico o estereofónico. Posteriormente, se elaboró la norma MPEG-2 que tenía como principal objetivo lograr la codificación de audio de más canales y conseguir aplicar la norma inicial a señales muestreadas a menor frecuencia.

Así, se puede concluir que el sistema DAB emplea codificación MPEG Audio Layer II (MUSICAM). Cuando se muestrea a 48 KHz se utiliza la norma MPEG-1 y cuando la frecuencia de muestreo es de 24 KHz se sigue la norma MPEG-2. La frecuencia de muestreo de la señal PCM, tanto de entrada en la parte de transmisión como de salida en la parte de recepción, debe ser siempre 48 KHz, cuando se emplea MPEG-2 es necesario cambiar la frecuencia de muestreo de 48 KHz a 24 KHz en ambos extremos de la cadena.

El codificador procesa la señal PCM y genera una salida de tasa binaria desde 8 Kbps a 384 Kbps.

El sistema MUSICAM se puede definir como un sistema de codificación que emplea diferentes técnicas estadísticas y modelos psicoacústicos del oído humano para comprimir la información de audio eliminando la información redundante e imperceptible.

En la figura 2-6 se muestra el diagrama de bloques de un codificador de audio para DAB.

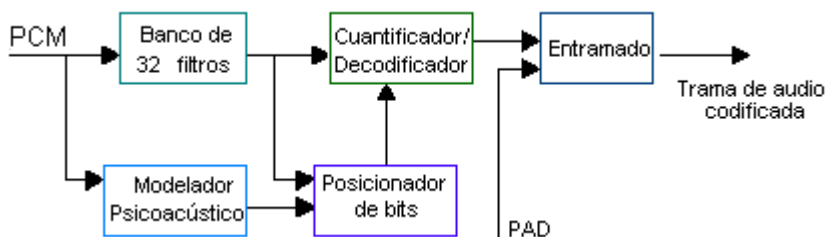


Figura 2-6. Codificador de audio

La señal de entrada PCM se conduce en primer lugar a un banco de 32 filtros que reparte la señal de entrada en 32 bandas distintas (grupos de 36 muestras), el Modelador Psicoacústico determina la forma en la que el Cuantificador/Codificador tratará cada banda. Para hacer esto último el Posicionador de Bits recoge los datos del Modelador Psicoacústico y determina el trato que recibirá cada banda respetando en cualquier caso la duración y tamaño de la trama de audio<sup>10</sup>.

Los codificadores incluyen en la trama de salida los datos PAD del programa y el chequeo de redundancia cíclica (CRC, Cyclic Redundancy Check).

Finalmente, en el bloque de entramado se forma la trama de audio DAB (audio + PAD) que tienen correspondencia con 1152 muestras PCM y tiene una duración de 24 ms, se incluye la información de audio y los datos necesarios para su decodificación.

<sup>10</sup> La trama de audio y sus campos se puede apreciar en el anexo A.

El Modelador Psicoacústico consigue eliminar la información que el oído humano no percibe:

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

En la figura 2-7 se puede observar el diagrama en bloques simplificado de un decodificador de audio.

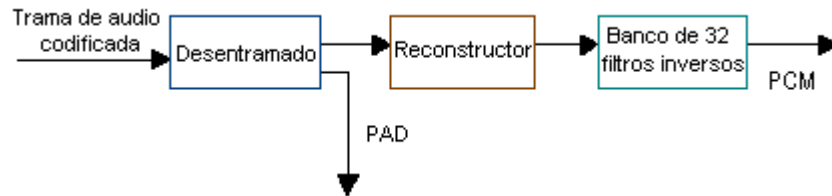


Figura 2-7. Decodificador de audio

En primer lugar se desentrama el audio codificado para de este modo conseguir por separado audio, PAD, datos de reconfiguración, etc. El bloque Reconstructor mediante la información de control recupera las 32 bandas que finalmente se filtran de forma inversa a la empleada en el codificador para obtener de nuevo la señal PCM inicial.

Con este método de codificación se consigue comprimir la señal de audio disminuyendo el flujo binario de salida sin que se degrade la calidad de la señal.

### 2.3.4 Procesamiento de la señal

Una vez se ha obtenido la señal codificada se realizan una serie de procesos previos a la modulación, en donde se generan los símbolos OFDM. Los procesos más importantes que se realizan son:

- Acceso condicional
- Dispersión de energía.
- Codificación convolucional.
- Entrelazado en el dominio del tiempo.
- Generación de los símbolos QPSK.
- Entrelazado en el dominio de la frecuencia.
- Generación de los símbolos DQPSK.

#### 2.3.4.1 Acceso Condicional.

Este bloque de procesamiento es opcional y sólo se emplea cuando existe información que debe ser accesible sólo por unos determinados usuarios.

Es posible enviar datos con acceso condicional tanto en modo ráfaga como en modo paquete, y en el FIDC.

Las tres principales funciones que desarrolla el bloque de acceso condicional son:

- Aleatorización/Desaleatorización: Con este proceso se pretende encriptar la información de forma que sólo sea accesible por ciertos usuarios. El usuario debe poseer el desaleatorizador apropiado así como un código especial denominado palabra de control (CW, Control Word). Es posible aplicar diferentes tipos de encriptación a un mismo servicio.
- Control de Acceso Condicional: Difunde los requisitos necesarios y los códigos necesarios para que los usuarios con acceso puedan ejercer esta función.
- Gestión del acceso condicional: Se encarga de gestionar el acceso condicional. Se autoriza a los receptores de distintas formas según la manera de suscripción a un servicio encriptado (por tema, por tiempo, por programa, etc).

#### 2.3.4.2 Dispersión de energía.

La misión de este proceso es asegurarse de que la energía de la señal se distribuya uniformemente y mantenga un nivel medio, constante.

Para hacer esto se suma la señal de entrada con una secuencia pseudoaleatoria. Con esto se consigue que la señal presente las propiedades espectrales de este tipo de señales. Así la energía se distribuye de manera uniforme en el espectro.

Empleando en recepción la misma secuencia pseudoaleatoria es posible deshacer este proceso. Una secuencia pseudoaleatoria se genera a partir de un polinomio generador y un registro de desplazamiento.

#### 2.3.4.3 Codificación convolucional.

La salida del dispersor de energía se introduce a un codificador convolucional.

El objetivo de este bloque es generar un código de redundancia que sirva para poder corregir los errores que aparecen en la recepción por efecto de la propagación de la señal. Es por eso, que al flujo binario de entrada se añaden una serie de bits que sirven para reducir la probabilidad de error del sistema.

La codificación convolucional se puede aplicar de dos formas distintas:

- Protección de Error Desigual (UEP, Unequal Error Protection): está especialmente diseñada para audio.
- Protección de Error Igual (EEP): Está diseñada tanto para datos como para audio.

De esta manera se puede aplicar una redundancia distinta a cada fuente de audio. Lo único que hay que tener en cuenta es que la tasa binaria de salida cumpla con los requisitos establecidos. Las posibles tasas de codificación son:

- $1/3$ , máximo nivel de protección.
- $3/7$ .
- $1/2$ .
- $3/5$ .



- 3/ 4, nivel mínimo de protección.

El operador del servicio es el encargado de asignar el valor de protección.

#### 2.3.4.4 Entrelazado en el dominio del tiempo.

Con éste se pretende lograr que la probabilidad de error de los bits sea independiente del mismo código convolucional.

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

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

#### 2.3.4.5. Generación de los símbolos QPSK.

Una vez se ha realizado el entrelazado en el tiempo se deben multiplexar el MSC y el FIC. Realizado este multiplexado se lleva la trama a un mapeador de símbolos QPSK. Para generar los coeficientes de los símbolos QPSK en primer lugar es necesario dividir la trama, es decir, los símbolos OFDM se asignan dividiendo la trama.

Una vez separados los símbolos OFDM estos se llevan a un mapeador de símbolos QPSK. Este bloque se encarga de calcular los coeficientes de los símbolos QPSK en el dominio de la frecuencia. Posteriormente es posible aplicando la Transformada Discreta Inversa de Fourier generar la señal OFDM en el tiempo partiendo de las muestras espectrales de los símbolos QPSK.

La forma de generar los símbolos OFDM a partir de la trama de transmisión (MSC + FIC) depende del modo de transmisión elegido.

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

#### 2.3.4.6 Entrelazado en el dominio de la frecuencia.

Los símbolos QPSK que tienen correspondencia con los símbolos OFDM de la trama son llevados a diferentes portadoras, se separan los datos consecutivos en diferentes frecuencias. Con este procedimiento se consigue gran robustez ante los desvanecimientos selectivos que afectan a ciertas frecuencias. Al realizar este entrelazado en frecuencia de las muestras se consigue que en caso de producirse un desvanecimiento selectivo no queden afectadas las muestras sucesivas de la señal.

La forma de realizar el entrelazado en frecuencia depende del modo DAB escogido para la transmisión.

#### 2.3.4.7 Generación de símbolos D-QPSK.

Símbolos de sincronismo. Luego de entrelazar la señal en frecuencia en las distintas portadoras se aplica una modulación diferencial a cada una de las portadoras.

Este bloque se encarga de generar símbolos D-QPSK a partir de los símbolos QPSK generados en el mapeador QPSK. Para realizar esto se suma una fase de referencia a los coeficientes de los símbolos QPSK. La utilización de una modulación diferencial se debe a que con este tipo de modulación se disminuye en gran manera la complejidad del receptor.

Al emplear una fase de referencia es necesario que el demodulador conozca este valor para poder demodular el primero de los datos recibidos. A partir de aquí se puede usar la fase de los datos anteriores. Por este motivo es necesario introducir en la trama un símbolo de sincronismo de fase que ayude al receptor a realizar la demodulación correctamente.

Además de este símbolo de fase se inserta un símbolo nulo al principio del símbolo OFDM de un valor conocido para sincronizar al demodulador de forma que conozca el momento en que debe comenzar a demodular. Dichos símbolos de sincronismo se incluyen en el canal de sincronización.

Por otro lado se añade a la trama información acerca del transmisor en el que se genera la misma. Esta información se denomina TII (Transmitter Identification Information).

#### 2.3.4.8 Modulación OFDM. Generación de símbolos OFDM.

El siguiente paso en la formación de la señal DAB es la modulación, este es una de los procesos más importantes en este sistema y aporta una gran parte de las ventajas del mismo, robustez ante el desvanecimiento selectivo, etc.

La modulación empleada en DAB es OFDM, que se puede definir de forma sencilla como una técnica multiportadora que emplea portadoras ortogonales moduladas a bajo nivel y multiplexadas en frecuencia.

De la modulación en DAB se puede destacar que se ve influida por la configuración que se haya escogido para la trama, como se ha visto en los apartados anteriores. De esta forma, el número de portadoras, por ejemplo, depende del modo empleado para la trama. El modo define la duración del símbolo, entre otros parámetros, y con ello la separación de las portadoras OFDM al tener que estar separadas la inversa del período de símbolo.

Además de emplearse la modulación OFDM se ha realizado un procesamiento previo de la señal, aplicándose por ejemplo, un código convolucional o sendos entrelazados en tiempo y en frecuencia, con estos procesos se consigue hacer la señal más robusta frente a errores. Cuando se utilizan estos procesos la modulación completa pasa a denominarse con las siglas COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

- Multiportadoras Ortogonales. El sistema DAB modula un número fijo de portadoras con un flujo de información de tasa binaria baja. El período de símbolo depende del Modo DAB que se esté empleando, éste a su vez fija la separación entre

portadoras lo que delimita el número de las mismas en un canal de ancho de banda 1,536 MHz, que es el que ocupa la señal DAB.

Al modular a baja velocidad se consigue reducir el ancho de banda de la señal modulada lo que es una gran ventaja, por otra parte es posible introducir un intervalo de guarda en cada símbolo que posibilita el funcionamiento en SFN aprovechándose los ecos constructivamente.

Para que no exista interferencia intersimbólica entre las distintas portadoras estas deben ser ortogonales. Dos señales son ortogonales cuando su producto escalar es nulo. De forma más intuitiva se puede hacer el siguiente razonamiento, en DAB se modula una portadora con QPSK, el espectro de la señal modulada es una función sinc:

Nulos en  $f_c \pm n/T$ .

T: período de símbolo de la información.

$n = 1, 2, 3, \dots$ ,

$f_c$ : frecuencia de la portadora.

Máximo en la frecuencia de la portadora.

De esta forma si se tiene un sistema multiportadora y se separa las portadoras una distancia igual a la inversa del período de símbolo (T), los máximos de cada señal coincidirán con los nulos del resto. Si además, se hace un muestreo en los instantes de las portadoras se evita la interferencia intersimbólica. La conclusión es por lo tanto que las portadoras moduladas son ortogonales cuando están separadas  $1/T$ , o lo que es lo mismo, cuando el máximo de una coincide con el nulo del resto.

La señal OFDM para DAB está compuesta por lo tanto por un número de portadoras que depende del modo, existiendo 4 valores, 192, 384, 768, 1536. Estas portadoras se modulan a bajo nivel en D-QPSK y se reparten en un ancho de banda de 1,536 MHz. El espectro que se obtiene ocupa este ancho de banda de forma plana.

- Sistema de Modulación OFDM. Intuitivamente el sistema de modulación puede verse como un sistema de N moduladores D-QPSK, siendo N el número de portadoras del sistema DAB. El sistema demodulador sería el inverso.

Sin embargo, haciendo un análisis matemático es posible comprobar como la expresión de una señal OFDM en el tiempo se puede representar mediante la fórmula de una Transformada Discreta Inversa de Fourier (IDFT) y ciertos factores de escala. Así, aplicar esta transformada a los símbolos DAB de cada portadora en el dominio de la frecuencia equivale a usar los N moduladores QPSK diferenciales. En el extremo receptor se aplica el proceso inverso, la Transformada Discreta de Fourier (DFT), obteniéndose a partir de las muestras de la señal en el tiempo, de nuevo los símbolos de cada una de las portadoras. Resumiendo, en el extremo transmisor se parte de las muestras de la señal OFDM en el dominio de la frecuencia (mapeador QPSK) y se aplica la IDFT para obtener la señal OFDM en el tiempo. En el extremo opuesto, el receptor se aplica el proceso inverso, transformación tiempo-frecuencia.

Tras obtener la señal OFDM se introduce el intervalo de guarda. El intervalo de guarda es el responsable de absorber los efectos de la propagación multitrayecto de forma que los ecos que se reciben dentro del intervalo de guarda contribuyan positivamente a la

recepción de la señal. Por otra parte el intervalo de guarda posibilita el funcionamiento en redes SFN, como se ha mencionado los ecos contribuyen de forma positiva, así, es posible que varios transmisores cubran una misma zona geográfica en el mismo canal ya que la interferencia co-canal deja de ser interferencia. Con la inserción del intervalo de guarda en cada símbolo, la duración del mismo pasa a ser:

$T_s = T_u + \Delta$ , donde:

$T_s$ : es el tiempo de símbolo.

$T_u$ : es el tiempo útil de símbolo.

$\Delta$ : es el intervalo de guarda.

Las ventajas del sistema DAB se deben a la modulación OFDM. Gracias a la utilización de esta técnica se tienen las siguientes ventajas:

Conseguir que parte de los ecos, que en la mayoría de los casos deterioran la calidad de la señal en la parte de recepción, contribuyan de forma activa a la recepción. Lo cual posibilita trabajar en redes de frecuencia única, es decir, emplear la misma frecuencia o canal para difundir un mismo programa por distintos transmisores en un área extensa.

La división de la información en diferentes portadoras hace que el sistema sea muy robusto ante los desvanecimientos selectivos, por eso es muy recomendado para la recepción portátil y móvil.

### 2.3.5 Recepción

La figura 2-8 muestra el diagrama en bloques de un receptor DAB.

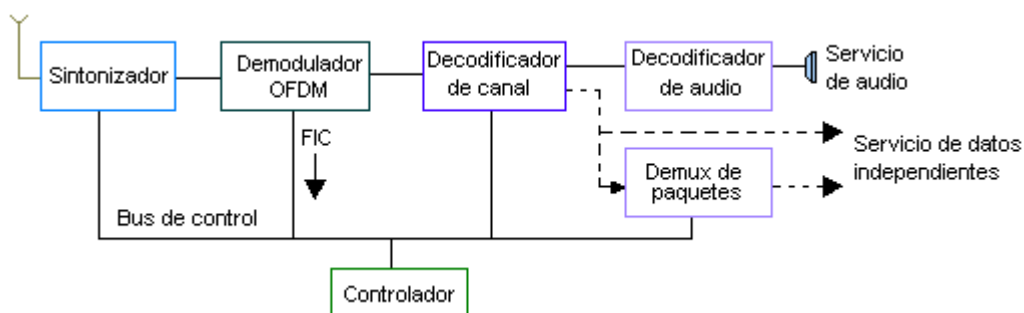


Figura 2-8. Receptor DAB

El primer componente es un sintonizador, a través del cual el usuario puede seleccionar una determinada frecuencia. A diferencia de FM al seleccionar una frecuencia no se selecciona un programa sino un "ensemble", compuesto por uno o varios programas emitidos simultáneamente.

El segundo bloque es el demodulador COFDM.

El decodificador de canal se encarga de separar los diferentes programas, y presenta a su salida:

- La información de audio (mono o estéreo), en formato analógico o digital, y datos del programa elegido de entre los componentes del "ensemble";
- Los servicios de datos no asociados a ningún programa de audio.

Todas estas funciones se controlan mediante un microcontrolador, a cuyas funciones se puede acceder a través del teclado.

El receptor se presenta al usuario como cualquier otro receptor de radio, controlable mediante un teclado. La diferencia radica en la presencia de un despliegue para la presentación de aplicaciones multimedia, y en las diferentes interfaces de salida disponibles para el acceso a la señal analógica y digital.

### 3. SISTEMA IBOC

A continuación se describirá el sistema IBOC desarrollado por Ibiqity Digital Corporation, solución que permite una suave evolución de la actual radiodifusión analógica tanto en AM como en FM al sistema digital.

El sistema de radiodifusión digital de sonido (DSB, Digital Sound Broadcasting) en la banda sobre el canal (IBOC, In Band On Channel) está diseñado para operar en los modos híbrido (Hybrid )y completamente digital (All-digital). El modo de operación depende de la frecuencia de difusión, el uso actual del espectro y los requerimientos de servicio de los radiodifusores. El modo de operación híbrido permite difusión simultánea de programas de radio en ambos formatos, el analógico y el digital dentro del canal actualmente ocupado por la señal analógica. El modo completamente digital provee la capacidad para operar en el mismo canal después de la eliminación de las señales analógicas existentes o donde el canal no es actualmente usado para radiodifusión analógica.

El sistema IBOC DSB está compuesto por cuatro componentes básicos: CODEC, el cual codifica y decodifica la señal de audio; codificación FEC y entrelazado el cual provee robustez a través de la redundancia y diversidad; el MODEM, el cual modula y demodula la señal; y el mezclador (blend), el cual provee una transición fina de la señal digital a la señal analógica, en el caso de la operación en modo híbrido, o una señal digital de soporte (backup), en el caso de operación en el modo completamente digital.

Además del mejoramiento de la calidad de audio, el sistema IBOC DSB también provee servicios de datos. Hay tres servicios de datos básicos: tasa de datos fija dedicada, tasa de datos ajustable, y tasa de datos variable oportunística.

En los servicios de tasa fija dedicada, la tasa de datos una vez establecida no puede ser cambiada por el radiodifusor. Específicamente, el servicio de datos iDAB (IDS, Information Data Service) continuamente ofrece un arreglo de servicios de datos de bajo ancho de banda similar a los actualmente provistos por el sistema de difusión de datos por radio (RDBS, Radio Broadcast Data System).

Los servicios de tasas de datos ajustables operan en una tasa fija de datos, por un periodo predeterminado. Sin embargo, a diferencia de los servicios de tasa fija de datos, los difusores tienen la opción de ajustar la tasa de datos, negociando la cantidad de datos que se pueden transmitir por el canal de audio por la calidad o robustez. Por ejemplo, la tasa de codificación de audio se puede reducir (en pasos finitos) para incrementar la cantidad de datos transmitidos por el canal, a expensas de la calidad de audio digital.

Los servicios de tasas variables oportunísticas ofrecen tasas de datos que están sujetas a la complejidad del audio codificado. El audio altamente complejo requiere una mayor cantidad de datos transmitidos por el canal que las entradas más simples. El codificador de audio mide dinámicamente la complejidad de audio y de acuerdo con

esto ajusta la cantidad de datos transmitidos a través del canal, sin comprometer la calidad del audio digital codificado.

### **3.1 COMPONENTES DEL SISTEMA**

#### **3.1.1 Codec**

El sistema IBOC DSB usa el codec de Codificación de Audio Avanzada (AAC, Advanced Audio Coding) complementado por la Réplica de Banda Espectral (SBR, Spectral Band Replication). Este entrega audio estéreo de alta calidad como FM dentro del ancho de banda impuesto para operaciones debajo de los 30 MHz. Para mejorar adicionalmente la robustez del audio digital mas allá de la provista por el FEC y el entrelazado, los codecs de audio utilizan técnicas especiales de ocultamiento para enmascarar los efectos de los errores en la entrada del flujo de bits. Además, el formato del flujo de bits de audio del codec provee la flexibilidad para permitir futuras mejoras a las técnicas básicas de codificación de audio.

#### **3.1.2 Técnicas de modulación**

El sistema IBOC DSB usa Modulación QAM. QAM tiene un ancho de banda eficiente que es suficiente para la transmisión de la calidad de audio estéreo como FM.

El sistema también utiliza una técnica multiportadora llamada Multiplexación por División Ortogonal de Frecuencia (OFDM). OFDM es un esquema en el cual muchas portadoras QAM pueden ser multiplexadas por división de frecuencia de forma ortogonal de tal manera que no hay interferencia entre las portadoras. Cuando se combina OFDM con la codificación FEC y el entrelazado en el tiempo, se mejora la robustez de la señal digital. La estructura de OFDM soporta las técnicas de codificación FEC que maximizan el desempeño en los ambientes de interferencia no uniforme.

#### **3.1.3 Codificación FEC y entrelazado**

El FEC y el entrelazado mejoran en gran medida la confiabilidad de la información transmitida debido a la información redundante que usa el receptor para corregir los errores ocurridos en el trayecto de transmisión. Las técnicas de codificación FEC se han diseñado con base en estudios de interferencia, para explicar la naturaleza no uniforme de la interferencia en esas bandas. Además, técnicas especiales de entrelazado se utilizan para dispersar los errores sobre el tiempo y la frecuencia para ayudar al decodificador FEC en el proceso de decisión.

Otro problema mayor al que se enfrentan los sistemas que operan debajo de los 30 MHz es la existencia de estructuras conductivas puestas a tierra que pueden causar cambios rápidos en la amplitud y fase. Para corregir esto, el sistema IBOC DSB usa técnicas de ecualización para garantizar que la fase y la amplitud de las portadoras digitales OFDM se mantengan lo suficiente para asegurar la correcta recuperación de la información digital. La combinación de codificación FEC avanzada, ecualización de canal, y técnicas óptimas de entrelazado permiten al sistema IBOC DSB entregar una señal de audio digital confiable en un entorno móvil.

### **3.1.4 Mezclador**

El sistema IBOC DSB emplea diversidad de tiempo entre dos transmisiones independientes de la misma fuente de audio para proveer recepción robusta durante interrupciones típicas de un entorno móvil. En el sistema híbrido la señal analógica sirve como el backup de la señal, mientras que en el sistema completamente digital se emplea un flujo de audio digital separado como el respaldo de la señal. El sistema IBOC DSB provee la capacidad para retardar la transmisión de backup por un tiempo fijo de varios segundos relativos a la transmisión principal de audio. Durante la sintonización, el mezclador permite la transición de la señal de backup adquirida instantáneamente a la señal principal después de que ésta ha sido adquirida. Una vez adquirida, el mezclador permite la transición a la señal de respaldo cuando se altera la señal principal. Cuando ocurre una interrupción de la señal, el receptor mezcla de un modo perfecto (sin que se note) a la señal de backup, por virtud de su diversidad de tiempo con la misma señal, ésta no experimenta dicha interrupción

El sistema digital depende de un entrelazador para dispersar errores a través del tiempo y reducir interrupciones. Las características del mezclador proveen un manera de adquirir fácilmente la señal de respaldo sobre la sintonización o la re adquisición sin comprometer el desempeño.

## **3.2 MODOS DE OPERACIÓN**

### **3.2.1 Modo híbrido**

En la forma de onda híbrida, la señal digital se transmite en las bandas laterales sobre cada lado de la señal local analógica como se muestra en la figura 3-1. El nivel de potencia de cada sub portadora OFDM se fija relativo a la portadora principal como se indica en la figura 3-1. Las portadoras OFDM, o portadoras digitales, se expanden aproximadamente  $\pm 14,7$  KHz de la portadora de AM. La portadoras digitales, directamente debajo del espectro de la señal analógica, se modulan de tal manera que se evitan interferencias con la señal analógica. Estas portadoras se agrupan en pares, con una pareja compuesta por dos portadoras que están equidistantes en frecuencia de la portadora de AM. Cada pareja se llama una pareja complementaria y el grupo entero de portadoras se denomina las portadoras complementarias. Para cada par, la modulación aplicada a una portadora es el conjugado negativo de la modulación aplicada a la otra portadora. El conjugado negativo localiza la suma de las portadoras en cuadratura a la portadora, por consiguiente minimiza la interferencia a la señal analógica. El costo por colocar las portadoras complementarias en cuadratura con las portadoras AM es que la información contenida sobre las portadoras complementarias es únicamente la mitad de las portadoras digitales independientes.

El modo híbrido está diseñado para estaciones que operan en FM en áreas donde es necesario proveer una transición racional de lo analógico a lo digital. El modo híbrido hace posible introducir servicios digitales sin causar interferencias a la señal analógica existente.



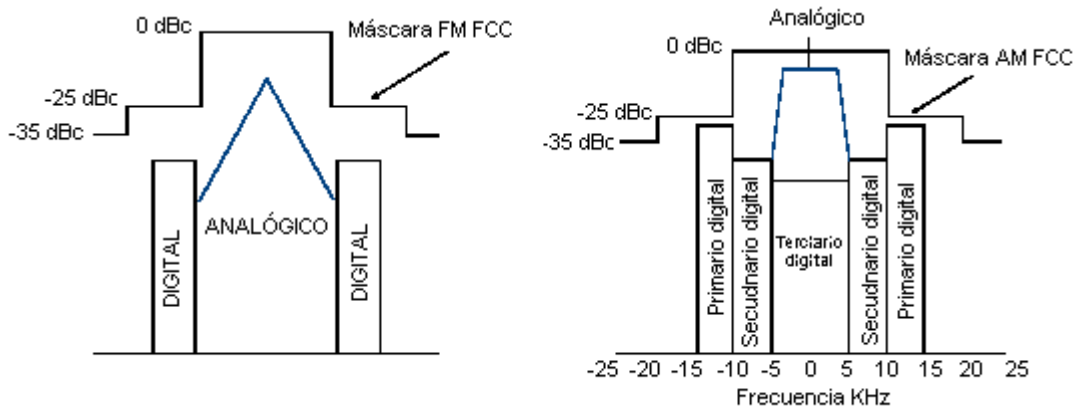


Figura 3-1. Formas de onda FM y AM en modo Híbrido

Para maximizar la recepción del audio digital el sistema IBOC usa un codec por capas donde el audio comprimido se parte en dos flujos de información: básico y mejorado. El flujo básico provee la información de audio básica, mientras que el flujo mejorado provee calidad más alta e información de estéreo. La codificación FEC y la localización de los flujos de audio sobre las portadoras OFDM está diseñada para proveer un flujo "básico" muy robusto y un flujo mejorado menos robusto. En este modo la información básica está localizada sobre las portadoras de potencia alta, estas portadoras se encuentran a  $\pm 10-15$  KHz de la portadora analógica, mientras que la información mejorada está localizada sobre las portadoras OFDM de 0 a  $\pm 10$  KHz.

Para proteger el flujo de audio "codec" de la interferencia y deterioros del canal, el sistema IBOC utiliza una forma de codificación de canal con la capacidad de perforar el código original en varias particiones traslapadas. Cada una de las cuatro particiones sobrevive independientemente como un código. Las particiones de la banda superior e inferior permiten al sistema IBOC operar aún en la presencia de fuertes interferencias sobre cualquiera de las bandas adyacentes, mientras que las particiones principal y de backup permiten al sistema IBOC ser robusto durante las interrupciones cortas tales como aquellas causadas por estructuras conductoras puestas a tierra.

En el sistema híbrido el rendimiento del audio básico es aproximadamente 20 Kbps mientras que el rendimiento del mejorado es aproximadamente 16 Kbps.

### 3.2.2 Modo completamente digital

El modo completamente digital permite un desempeño mejorado una vez se ha borrado la señal analógica existente. Los radiodifusores podrían elegir implementar el modo completamente digital en áreas donde no existen estaciones analógicas que necesitan ser preservadas o después de un periodo suficiente de operación en el modo híbrido con significativa penetración de receptores digitales en el mercado.

Como se muestra en la figura 3-2, la principal diferencia entre el modo híbrido y el modo digital es la eliminación de la señal analógica y el incremento de potencia de las portadoras que previamente estaban bajo la señal analógica. La potencia adicional en la forma de onda completamente digital incrementa la robustez, y el paso dado en la forma de onda optimiza el desempeño bajo fuertes condiciones de interferencia de canal adyacente.

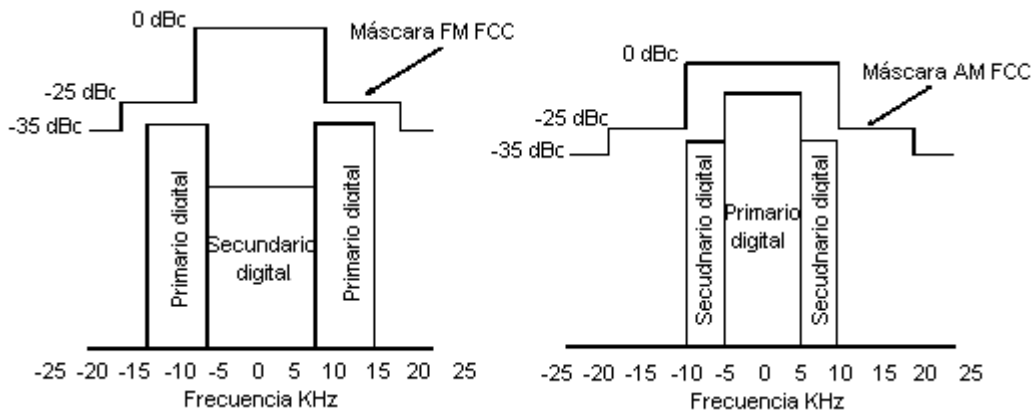


Figura 3-2. Formas de onda FM y AM, modo completamente digital

Los mismos codec en capas y métodos FEC, con idénticas velocidades (por ejemplo: 20 Kbps para el audio básico y 16 Kbps para el audio mejorado), se usan en el modo completamente digital de la misma forma que en el modo híbrido. Esto simplifica el diseño de un receptor, ya que soporta ambos sistemas.

El diseño en el modo completamente digital tiene las siguientes características:

- Alta eficiencia del espectro con más grande rendimiento que el sistema híbrido.
- Operación robusta dentro del contorno actual protegido y dentro de la máscara de emisión FCC actual.
- Autonomía del radiodifusor para transición al sistema completamente digital en cualquier momento.
- Mayor robustez frente a deterioros del canal.

### 3.2.3 Generación de la señal

Un diagrama en bloques del transmisor IBOC DSB FM híbrido se muestra en la figura 3-3. La fuente de audio de entrada en el Enlace Estudio Transmisor (STL, Studio Transmitter Link) alimenta al trayecto FM analógico y al trayecto del audio DSB. El primer camino enruta la salida de audio del excitador DAB al procesador de audio DAB. El audio procesado se lleva nuevamente al excitador DAB, donde la codificación y modulación son aplicadas para producir la parte digital de la señal híbrida. La salida del excitador DAB se amplifica por un Amplificador Lineal de Alta Potencia (HPA, High Power Amplifier), antes de que se lleve al combinador. El camino DSB comprende digitalmente la señal de audio en el codificador de audio, cuyo flujo de bits resultante se entrega al codificador FEC y al entrelazador. El flujo de bits se combina dentro de una trama y se modula en OFDM para producir una señal en banda base DSB. El retardo de diversidad se introduce en el camino de la señal analógica FM y se pasa a través del procesador de audio analógico existente de la estación. La señal de audio analógico procesada, se lleva al excitador FM analógico y al transmisor para producir la parte analógica de la señal híbrida.

Un método similar al anteriormente expuesto se usa para el sistema completamente digital que opera en FM. En el sistema completamente digital, el camino de transmisión analógico no existe.

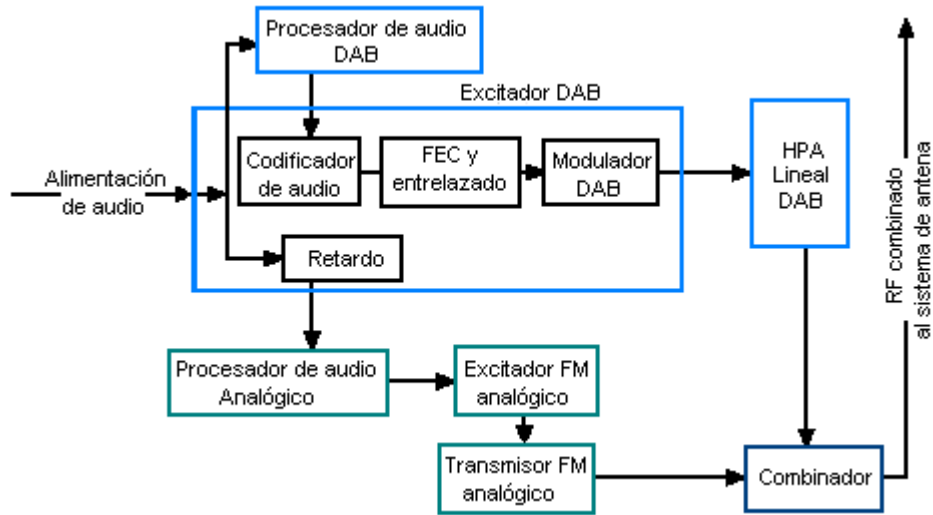


Figura 3-3. Transmisor DAB IBOC

### 3.2.4 Recepción de la señal

Un diagrama en bloques de un receptor FM IBOC se muestra en la figura 3-4. La señal la recibe un "front end" (parte del programa que es responsable de la intrfase del operador) y se convierte a IF, en una manera similar a la existente en los receptores analógicos. A diferencia de los receptores analógicos típicos, sin embargo, la señal se filtra, se convierte A/D, y digitalmente se convierte a componente de señal de banda base en fase y cuadratura. La señal híbrida se parte en componentes DSB y analógico. El componente analógico se demodula para producir una señal de audio muestreada digitalmente. La señal DSB se sincroniza y demodula en símbolos. Estos símbolos se desentraman para luego realizar la decodificación FEC y el desentrelazado. El flujo de bits resultantes se procesa por el codificador de audio para producir la salida digital estéreo DSB. Esta señal de audio DSB se retarda la misma cantidad de tiempo que el retardo experimentado por la señal analógica en el transmisor. La función del mezclador de audio es mezclar la señal analógica con la señal digital, si la señal digital está degenerada y además se usa para adquirir rápidamente la señal durante la sintonización o readquisición.

El ruido blanking es una parte integral del receptor IBOC y se usa para mejorar la recepción analógica y digital. Los receptores usan circuitos sintonizados para filtrar los canales adyacentes y los productos de intermodulación.

Estos circuitos sintonizados tienden a "timbrar", o extender pulsos cortos en interrupciones más largas. Un "blanker" de ruido detecta el impulso y desactiva los estados de RF para la duración corta del pulso, efectivamente limita los efectos sobre la "escuchabilidad" analógica, de repique. Los pulsos cortos tienen un efecto mínimo sobre el flujo de datos digital e incrementa la "escuchabilidad" de la señal digital.

Un proceso similar al descrito anteriormente se utiliza en el modo completamente digital, excepto la recepción analógica, demodulación y mezcla que no se realiza.

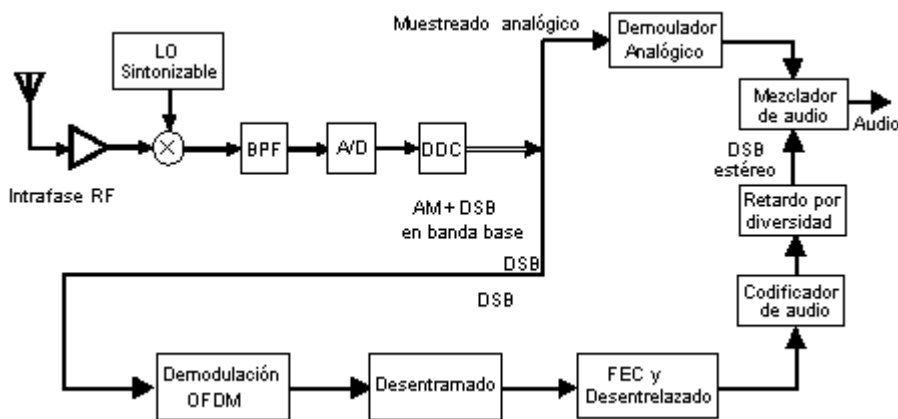


Figura 3-4. Diagrama de un receptor típico FM IBOC

### 3.3 PROTOCOLOS Y SERVICIOS IBOC

Con el fin de proveer flexibilidad y mejoras a las programas ofrecidos, el sistema IBOC soporta una serie de servicios de programa. Se tiene el Servicio de Programa Principal (MPS, Main Service Program), el Servicio de Datos Personal (PDS, Personal Data Service), el Servicio de Identificación de Estación (SIS, Station Identification Service) y Servicio de Aplicación Auxiliar (AAS, Auxiliary Application Service).

El MPS envía la programación existente en formato de audio digital, junto con los datos digitales que asocia directamente con el audio digital. Mientras que el MPS emite un programa de audio tradicional a los oyentes, el PDS habilita a los oyentes para seleccionar servicios de datos sobre demanda, por consiguiente es personalizado, proveyendo información de interés para el usuario. El SIS provee la información de identificación y control requerida para permitir al oyente buscar y seleccionar las estaciones de radio digital y sus servicios soporte. Finalmente, el AAS permite un número ilimitado virtualmente de usos y aplicaciones de radio especializadas que coexisten en el tiempo.

El soporte simultáneo de estos servicios es provisto a través de la pila de protocolos que se ilustra en la figura 3-5 (FM). El material fuente se mueve por la pila de protocolos desde el nivel 5 al nivel 1 en el transmisor, siendo emitido por el aire, y de regreso va en la pila de protocolos del nivel 1 al nivel 5 en el receptor.

En el transmisor, el nivel 5 recibe audio o datos del contenido de programa desde el radiodifusor. El nivel 4 provee codificación (tal como compresión de audio) así como también capacidades de control e identificación de la estación. El nivel 3 asegura robustez y eficiencia en la transferencia de los datos del nivel 4 y el nivel 2 provee detección de error, direccionamiento y multiplexación.

El nivel 1 recibe el contenido estructurado del nivel 2 y crea la forma de onda IBOC para la transmisión sobre el aire. El procesamiento necesario para generar la forma de onda IBOC ocurre en el nivel 1 y se describe más adelante tanto para FM como para AM.

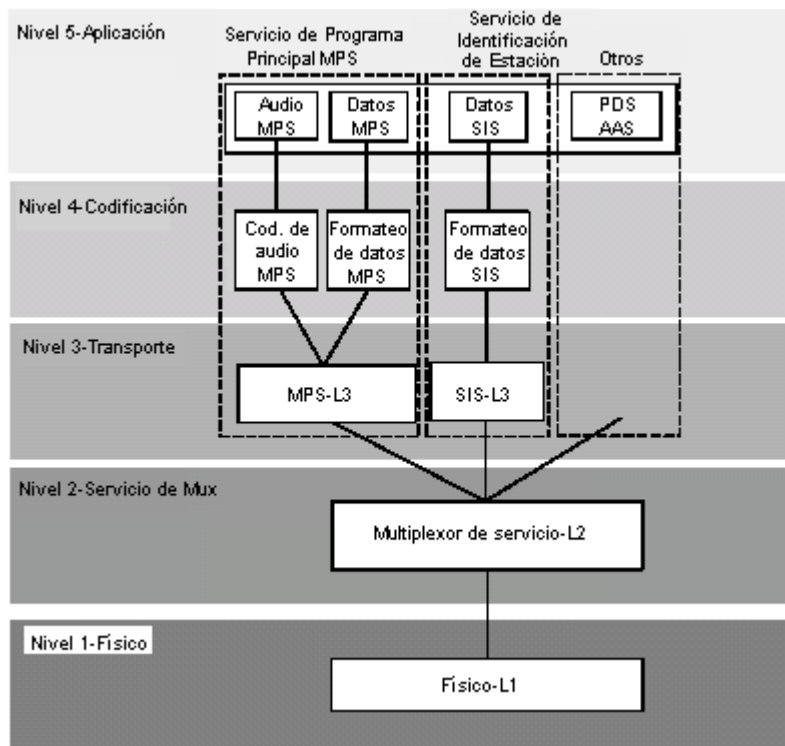


Figura 3-5. Pila de protocolos

### 3.4 CAPAS DEL IBOC FM

Las especificaciones detalladas del desempeño del sistema IBOC son hechas con base en los estándares internacionales de interconexión de sistemas abiertos (OSI, Open System Interconnection) de la Organización Internacional de Estándares (ISO, International Standards Organization). Las definiciones de este modelo se resumen de la siguiente manera:

- Nivel 1** Nivel Físico  
MODEM, Entrelazado, FEC, Aleatorización
- Nivel 2** Nivel de enlace de datos  
Enrutamiento de las tramas de nivel 1 al nivel 4. Se realiza chequeo de la integridad de las tramas.
- Nivel 3** Nivel de red  
No se usa en IBOC
- Nivel 4** Nivel de transporte. Servicios construidos, entrega de datos confiables en el formato requerido para aplicaciones específicas.
  - Audio Digital.
  - Control de datos y texto.
  - Entrega de archivos y paquetes.
- Nivel 5** Nivel de sesión  
No se usa en IBOC

**Nivel 6** Nivel de presentación

Provee servicios como codificación/decodificación

Imágenes, texto, audio. Codificación de Audio Perceptual (PAC, Perceptual Audio Coding)

**Nivel 7** Nivel de aplicación

Provee los medios de intercambio de información entre la máquina y el usuario.

- Audio. Procesamiento de audio.
- Texto. Procesamiento para despliegue.
- Video. Presentación de imágenes de video.
- Aplicaciones especializadas como applets java.

Cada nivel OSI del sistema de radiodifusión tiene un nivel correspondiente, llamado un par, en el sistema de recepción. La funcionalidad de estos niveles es tal que el resultado combinado de los niveles más bajos es efectuar una comunicación virtual entre un nivel dado y su par en el otro lado<sup>11</sup>.

### 3.4.1 Nivel 1 para el FM Híbrido.

El nivel uno<sup>12</sup> del sistema FM híbrido convierte información y sistema de control del nivel dos en la forma de onda FM IBOC para la transmisión en la banda VHF. La información de control es transportada en tramas de transferencia discreta vía múltiples canales lógicos a través de los Puntos de Acceso de Servicio del nivel 1 (SAPs, Service Access Points). Estas tramas de transferencia son además conocidas como Unidades de Datos de Servicio del nivel 2 (SDUs, Service Data Units) y Unidades de Control de Servicio (SCUs, Service Control Units), respectivamente.

Las SDUs del nivel 2 varían en tamaño y formato dependiendo del modo de servicio. El modo de servicio, un componente mayor del sistema de control, determina las características de transmisión de cada canal lógico. Después de la valoración de los requerimientos de las aplicaciones, los protocolos de niveles más altos seleccionan los modos de servicio más adecuados para configurar los canales lógicos. La pluralidad de los canales lógicos refleja la inherente flexibilidad del sistema, la cual soporta entrega simultánea de varias clases de audio digital y datos.

El nivel 1 además recibe el sistema de control como SCUs del nivel 2. El sistema de control se procesa en el Procesador de Sistema de Control.

### 3.4.2 Formas de onda y espectro

El diseño provee un medio flexible de transición a un sistema de radiodifusión digital suministrando tres tipos de forma de onda: Híbrido, Híbrido extendido y Completamente digital. Los tipos híbrido e híbrido extendido, conservan la señal analógica FM, mientras que el tipo completamente digital no. La señal digital se modula usando OFDM, que es un esquema de modulación en paralelo en el cual los flujos de datos modulan un gran número de subportadoras ortogonales, las cuales se transmiten simultáneamente.

---

<sup>11</sup> También se aplica para el IBOC AM.

<sup>12</sup> Para la descripción del sistema de transmisión IBOC, sólo es necesario profundizar en el nivel 1

#### 3.4.2.1 Forma de onda Híbrida.

La señal digital se transmite en una banda lateral primaria principal (PM, Primary Main) de la señal analógica FM. El nivel de potencia de cada banda lateral es aproximadamente 23 dB por debajo de la potencia total de la señal analógica. La señal analógica podría ser monofónica o estéreo y podría incluir canales de autorización de comunicaciones afiliadas (SCA, Subsidiary Communications Authorization).

#### 3.4.2.2 Forma de onda híbrida extendida.

El ancho de banda de las bandas laterales híbridas se puede extender hacia la señal analógica FM para incrementar la capacidad digital. Este espectro adicional, asignado al borde interior de cada banda lateral primaria principal, se denomina la banda lateral primaria extendida (PX, Primary Extended).

#### 3.4.2.3 Forma de onda completamente digital.

Los mejoramientos más grandes del sistema se realizan con la forma de onda completamente digital, en la cual la señal analógica se remueve y el ancho de banda de la banda lateral digital primaria se extiende completamente como en la forma de onda híbrida extendida. En adición, esta forma de onda permite más baja potencia de las bandas laterales secundarias a ser transmitidas en el espectro que deja la libre la señal analógica FM.

### 3.4.3 Canal de control del sistema

El canal de control del sistema (SCCH, System Control Channel) transporta información de estado y control. Los modos de servicio primario y secundario y el control de retardo de diversidad se envían desde el nivel 2 al nivel 1, mientras la información de sincronización se envía del nivel 1 al nivel 2.

Los modos de servicio fijan todas las configuraciones permisibles de los canales lógicos. Hay once modos.

- Los siete modos de servicio primario son MP1, MP2, MP3, MP4, MP5, MP6 y MP7. Ellos configuran los canales lógicos primarios.
- Los cuatro modos de servicio secundario son MS1, MS2, MS3, y MS4. Ellos configuran los canales lógicos secundarios.

### 3.4.4 Canales lógicos

Un canal lógico es un trayecto de señal que transmite SDUs del nivel 2 en tramas de transferencia dentro del nivel 1 con un grado de servicio específico, determinado por el modo de servicio. El nivel 1 de la interfaz aérea FM provee diez canales lógicos a los protocolos de niveles más altos. No todos los canales lógicos se utilizan en cada modo de servicio.

3.4.4.1 Canales lógicos primarios. Hay cuatro canales lógicos primarios que se utilizan con ambas formas de onda, híbrida y completamente digital. Estos se denotan como P1, P2, P3 y PIDS. La tabla 3-1 muestra la velocidad de información soportada por cada canal lógico primario como una función del modo de servicio primario.

Tabla 3-1. Velocidad de información de los canales lógicos primarios

Modo de servicio	Velocidad información (Kbps)				Forma de onda
	P1	P2	P3	PIDS	
MP1	25	74	0	1	Híbrido
MP2	25	74	12	1	Híbrido Extendido
MP3	25	74	25	1	Híbrido Extendido
MP4	25	74	50	1	Híbrido Extendido
MP5	25	74	25	1	Híbrido Extendido, Todo digital
MP6	50	49	0	1	Híbrido Extendido, Todo digital
MP7	25	98	25	1	Híbrido Extendido, Todo digital

3.4.4.2 Canales lógico secundarios. Hay seis canales lógicos secundarios que se utilizan solamente con la forma de onda completamente digital. Ellos se denotan como S1, S2, S3, S4, S5 y SIDS. La tabla 3-2 muestra la velocidad de información soportada por cada canal lógico secundario como una función del modo de servicio secundario.

Tabla 3-2. Velocidad de información de los canales lógicos secundarios

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

3.4.4.3 Funcionalidad del canal lógico. Los canales lógicos P1 a P3 están diseñados para transportar audio y datos. S1 hasta S5 se pueden configurar para transportar datos o sonido surround. Los canales lógicos de Servicio de Datos IBOC Primario (PIDS, Primary IBOC Data Service Logical Channel) y Servicio de Datos IBOC Secundario (SIDS, Secondary IBOC Data Service Logical Channel) están diseñados para transportar información de Servicio de Datos IBOC (IDS, IBOC Data Service).

El desempeño de cada canal lógico se describe completamente a través de tres parámetros de caracterización: transferencia, latencia y robustez. La codificación del canal, el mapeo espectral, la profundidad del entrelazador y el retardo de diversidad son los componentes de estos parámetros de caracterización. El modo de servicio únicamente configura estos componentes para cada canal lógico activo, por consiguiente, autoriza la asignación de los parámetros apropiados.



En adición, el modo de servicio especifica la conformación de la trama y la sincronización de las tramas de transferencia a través de cada canal lógico activo.

### 3.4.5 Componentes funcionales

La figura 3-6 muestra un diagrama del procesamiento realizado en el nivel 1. El audio y datos pasan de los niveles OSI más altos al nivel físico, el MODEM, a través de los SAPs de nivel 1.

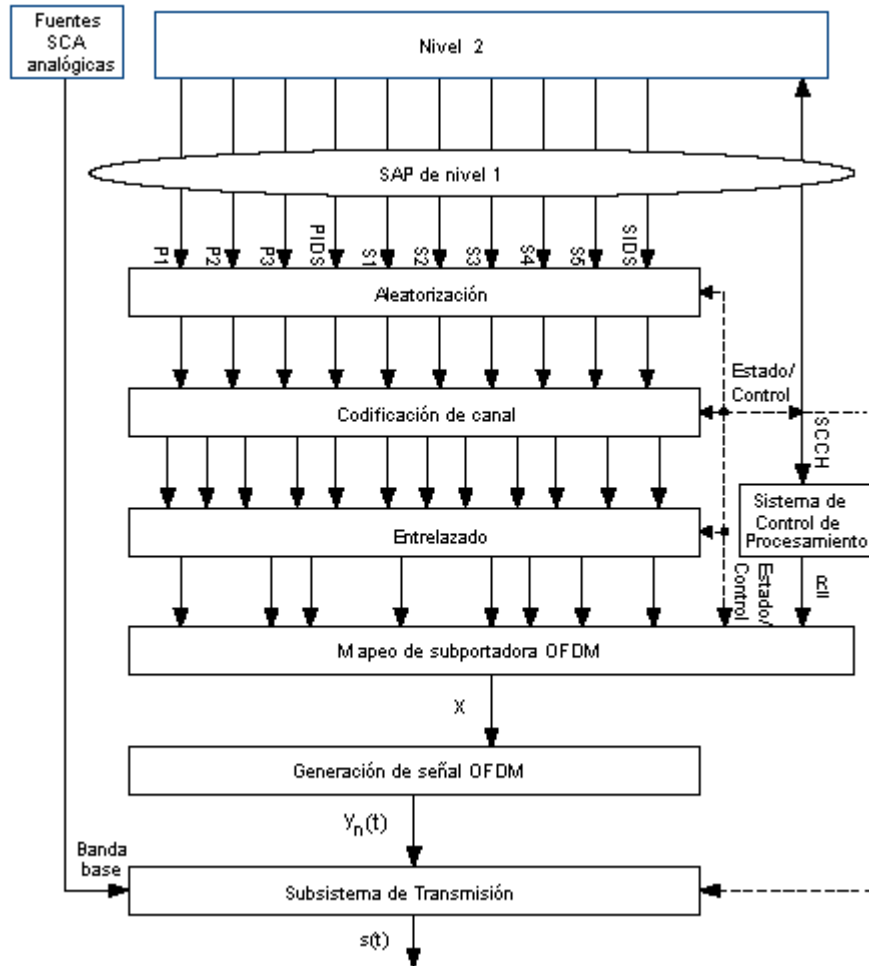


Figura 3-6. Diagrama en bloques del nivel 1 FM

3.4.5.1 Puntos de Acceso al Servicio. Los SAPs del nivel 1 definen la interfaz entre el nivel 2 y el nivel 1 de la pila de protocolos del sistema. Cada canal lógico y el Canal de Control del Sistema (SCCH, System Control Channel) tienen su propio SAP. Cada canal lógico entra al nivel 1 en tramas de transferencia discreta, con tamaño único y una velocidad determinada por el modo de servicio. Estas tramas de transferencia de nivel 2 se conocen como SDUs del nivel 2 y SCUs.

3.4.5.2 Aleatorización. Esta función aleatoriza los datos digitales en cada canal lógico para "blanquear" y apaciguar la periodicidad de la señal cuando la forma de onda se demodula en un demodulador FM analógico convencional.

3.4.5.3 Codificación del Canal. Esta función emplea codificación convolucional para adicionar redundancia a los datos en cada canal lógico para mejorar su confiabilidad en presencia de deterioros del canal. El tamaño de los vectores del canal lógico se incrementa en proporción inversa de la velocidad del código. Las técnicas de codificación se configuran por modo de servicio. El retardo de diversidad es impuesto sobre el canal lógico seleccionado. A la salida del decodificador de canal, los vectores de canal lógico conservan su identidad.

3.4.5.4 Entrelazado. El entrelazado en tiempo y frecuencia se emplea para disminuir los efectos de los errores en ráfaga. Las técnicas de entrelazado están hechas para los ambientes de desvanecimiento y se configuran por modo de servicio. En este proceso, los canales lógicos pierden su identidad. La salida del entrelazador se estructura en una matriz; cada matriz está compuesta de uno o más canales lógicos y está asociada con una porción particular del espectro transmitido.

3.4.5.5 Procesamiento de Control del Sistema. Esta función genera una matriz de secuencias de datos de control del sistema, la cual incluye estado y control para radiodifusión en las subportadoras de referencia.

3.4.5.6 Mapeo de la Subportadora OFDM. Esta función asigna las matrices entrelazadas y la matriz de control del sistema a las subportadoras OFDM. Una fila de cada matriz del entrelazador activo procesa cada símbolo OFDM  $T_s$  para producir una salida, el vector  $X$ , el cual es una representación de la señal en el dominio de la frecuencia. El mapeo es hecho para los ambientes de interferencia no uniforme y es una función del modo de servicio.

3.4.5.7 Generación de la Señal OFDM. Esta función genera la porción digital de la forma de onda IBOC FM en el dominio del tiempo. Los vectores de entrada se transforman en un pulso de banda base de dominio en el tiempo,  $y_n(t)$ , definiendo un símbolo OFDM.

3.4.5.8 Subsistema de Transmisión. Esta función estructura la onda de banda base para la transmisión a través del canal VHF. Una de las funciones más relevantes es la concatenación de símbolos y la conversión hacia arriba de frecuencia. En adición cuando se transmite la forma de onda híbrida, esta función modula la fuente analógica y la combina con la señal digital para formar una señal híbrida  $s(t)$ , lista para la transmisión.

### **3.5. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL**

La generación de la señal OFDM recibe un complejo, símbolos OFDM de dominio en frecuencia desde el mapeo de subportadora OFDM, y a la salida pulsos de dominio en el tiempo que representan la porción digital de la señal IBOC FM. En la figura 3-7 se muestra un diagrama en bloques de la generación de la señal OFDM.

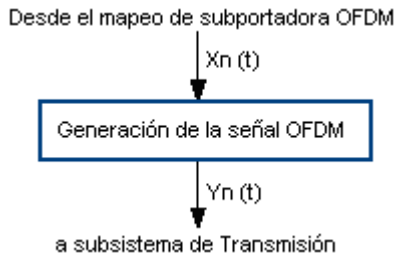


Figura 3-7. Generación de la Señal OFDM

La entrada a la generación de la señal OFDM es un vector complejo  $X_n$  de longitud  $L$ , representando los valores complejos para cada subportadora OFDM en el símbolo  $n$  OFDM. La salida de la generación de la señal OFDM es un complejo, pulso en banda base,  $Y_n(t)$  de dominio en el tiempo, representando la porción digital de la señal IBOC FM para el símbolo  $n$  OFDM.

### 3.5.1 Funcionalidad

$X_n[k]$  son los puntos de la constelación del Mapeo de la Subportadora OFDM para el símbolo  $n^{\text{th}}$  (enésimo), donde  $k = 0, 1, \dots, L-1$  representa los índices de las subportadoras OFDM.  $y_n(t)$  denota la salida en el dominio del tiempo para el enésimo símbolo.  $y_n(t)$  se encuentra escrita en términos de  $X_n[k]$  como sigue:

$$y_n(t) = h(t - nT_s) \cdot \sum_{k=0}^{L-1} X_n[k] \cdot e^{j2\pi\Delta f \left[ k - \frac{(L-1)}{2} \right] (t - nT_s)} \quad (3.1)$$

donde  $n=0, 1, \dots, \infty$ ,  $0 \leq t \leq \infty$ ,  $L = 1093$  es el número total de subportadoras OFDM, y  $T_s$  y  $\Delta f$  son la duración del símbolo OFDM y el espaciado entre portadoras respectivamente.

### 3.5.2 Subsistema de transmisión

El subsistema de transmisión estructura la banda base IBOC FM para transmisión a través del canal VHF. Las funciones incluyen concatenación de símbolos y conversión de frecuencias. En adición, cuando se transmite la onda híbrida o híbrida extendida, esta función retarda y modula la señal analógica en banda base antes de la combinación con la forma de onda digital.

La entrada a este módulo es un complejo, símbolo OFDM en banda base, en el dominio del tiempo,  $y_n(t)$ , desde la función de Generación de la Señal OFDM. Una señal analógica en banda base  $m(t)$  proviene de una fuente analógica, junto con las señales SCA (Subsidiary Communications Authorization), cuando se transmite la onda híbrida o híbrida extendida. En adición, el control de retardo de diversidad (DD, Diversity Delay) entra en el nivel 2 vía el SCCH. La salida de este módulo es el IBOC FM.

3.5.2.1 Concatenación de símbolo. Los símbolos individuales OFDM en el dominio del tiempo se concatenan para producir pulsos continuos sobre el  $t = 0, \dots, \infty$ , como sigue:

$$y(t) = \sum_{n=0}^{\infty} y_n(t) \quad (3.2)$$

3.5.2.2 Conversión de frecuencia. La señal digital concatenada  $y(t)$  se translada de banda base a la frecuencia portadora RF como sigue:

$$z(t) = \text{Re}\left(e^{j2\pi f_c t} \cdot y(t)\right) \quad (3.3)$$

donde  $f_c$  es la frecuencia de canal asignada y  $\text{Re}[\cdot]$  denota el componente real de la cantidad compleja. Para la forma de onda completamente digital, la salida del conversor es la forma de onda IBOC FM VHF, y por consiguiente,  $s(t)=z(t)$ .

Las portadoras mantienen su espaciamento de 200 KHz sobre la banda de frecuencias de 88,0 a 108,0 MHz. Los canales se numeran del 201 al 300, donde el canal 201 está centrado en 88,1 MHz y el canal 300 está centrado en 107,9 MHz<sup>13</sup>.

3.5.2.3 Retardo de diversidad. Cuando se realiza la difusión de las formas de onda Híbrida e Híbrida Extendida,  $z(t)$  se combina con la señal analógica FM  $a(t)$  como se muestra en la figura 3-8. El primer paso en la generación de  $a(t)$  es la aplicación de retardo por diversidad a la señal analógica en banda base  $m(t)$ .

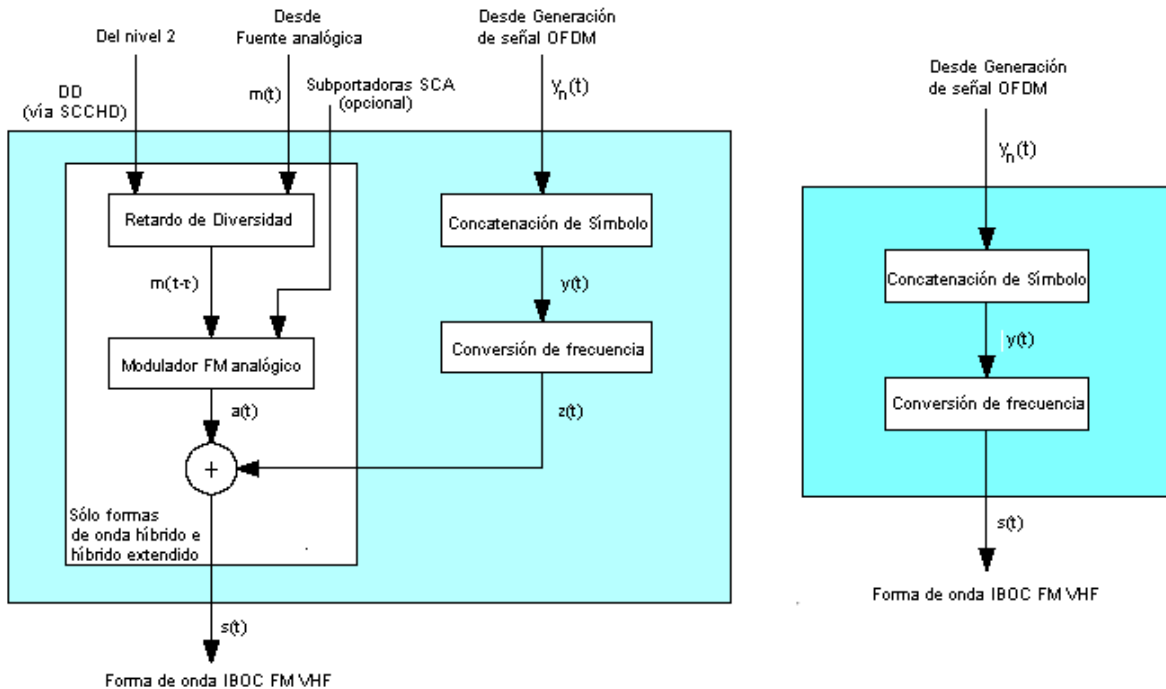


Figura 3-8. Subsistema de transmisión para los modos de funcionamiento IBOC

El bit de control de retardo de diversidad (DD), recibido del nivel 2 vía el SCCH, lo usan los protocolos de niveles superiores para habilitar o deshabilitar el retardo. Si DD es 1, el retardo se habilita. Cuando el retardo se habilita, un retardo  $\tau$  ajustable se aplica a la señal analógica  $m(t)$  en banda base. El retardo se establece a fin de que, a la salida del combinador analógico/digital,  $a(t)$  atrase la correspondiente señal digital  $z(t)$  por  $T_{dd}$ . En el sistema IBOC las señales analógica y digital transportan el mismo programa

<sup>13</sup> No se debe olvidar que esto es lo establecido por la FCC, pero para Colombia el espaciamento entre canales es de 100 KHz y además los canales se numeran a partir de 1.

de audio, con el audio analógico retardado de la correspondiente señal digital por un tiempo  $T_{dd}$  a la salida del combinador analógico/digital.

3.5.2.4 Modulador FM Analógico. Para las formas de onda híbrida e híbrida extendida, la señal analógica de banda base retardada apropiadamente  $m(t-\tau)$  se modula en frecuencia para producir una señal analógica en RF idéntica a las señales analógicas existentes.

3.5.2.5 Combinador analógico/digital. Cuando se realiza la difusión de la onda híbrida o híbrida extendida, la señal en RF modulada analógicamente se combina con la señal RF modulada digitalmente para producir la forma de onda IBOC FM,  $s(t)$ . Ambas señales analógica y digital se centran en la misma frecuencia portadora.

Los niveles de cada banda lateral digital en el espectro de salida se escalonan apropiadamente por el Mapeo de Subportadora OFDM.

3.5.2.6 Uso de repetidores sobre el canal. El uso de la modulación OFDM en el sistema IBOC FM permite repetidores digitales sobre el canal para cubrir áreas deseadas donde las pérdidas de señal, debido al terreno o sombras, son severas. Una aplicación típica podría ser donde las montañas u otras obstrucciones del terreno dentro del área de servicio de las estaciones limitan el desempeño analógico o digital.

El sistema IBOC FM de Iqity opera con un tiempo de guarda efectivo entre símbolos OFDM de aproximadamente  $150 \mu s$ <sup>14</sup>. Para evitar interferencia intersimbólica la cobertura efectiva en la dirección del sistema de transmisión primario se debe limitar a 14 millas. Específicamente la relación de la señal del transmisor primario a la señal del booster podría ser al menos 10 dB en sitios a más de 23 Km del repetidor en la dirección de la antena primaria. El desempeño y distancia entre los boosters sobre el canal, se puede perfeccionar a través del uso de antenas direccionales para proteger la estación principal.

3.5.2.7 Sincronización GPS. Para asegurar una sincronización precisa, cada estación está sincronizada con un sistema de posicionamiento geográfico (GPS, Global Positioning System) "GPS locked".

Esto se logra a través de la sincronización con una señal sincronizada en tiempo y frecuencia al GPS.

### 3.5.3 Transmisores FM

Existen tres métodos para producir la señal FM híbrida.

El primero de ellos se conoce como "combinación en alto nivel" o "amplificación separada", éste se muestra en la figura 3-9. Con este método, se utilizan excitadores y amplificadores separados para generar las señales FM analógica e IBOC. Típicamente la parte analógica consta del transmisor existente de la estación. Se agrega un nuevo excitador IBOC, tanto como un combinador final, lo que une las salidas de ambos transmisores para alimentar la antena.

---

<sup>14</sup> 150 microsegundos equivalen a 28 millas, es decir 44.800 m.

En el método de combinación en alto nivel, la pérdida de potencia ocurre debido a las diferencias de potencia de la señal combinada. Los combinadores utilizados en IBOC tienen una pérdida<sup>15</sup> de 0.5 dB (10%) de la potencia analógica y 10 dB (90%) de la potencia digital. Sin embargo, dado que los requerimientos de potencia en la tecnología digital son bajos (-20 dB en relación a la señal analógica), esta pérdida es tolerable.

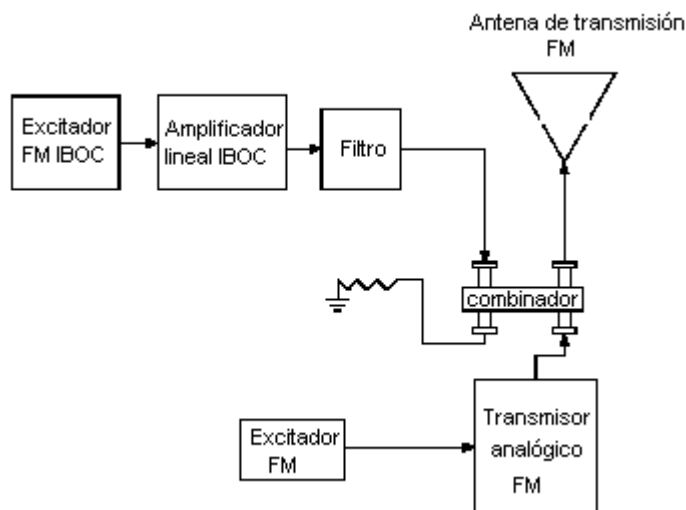


Figura 3-9. Combinación en alto nivel

El otro método se conoce como "combinación en bajo nivel" o "amplificación común", éste se ilustra en la figura 3-10. En esta implementación la salida del excitador analógico se combina con la salida de un excitador IBOC. Las salidas combinadas alimentan un amplificador lineal de banda ancha, para llevar la señal a la potencia deseada de transmisor (TPO, Transmitter Power Output). Este método reduce el número de elementos independientes en la cadena de difusión y podría reducir los requerimientos de espacio físico y la potencia total consumida.

Una de las desventajas de la combinación en bajo nivel es su alto costo en las potencias más elevadas, debido al alto costo de los amplificadores de estado sólido de alta potencia. La mayoría de las emisoras que necesitan mayor potencia usarán la combinación en alto nivel. Otra desventaja de este método es que cualquier problema que tenga el transmisor afectará tanto la señal analógica como la digital.

<sup>15</sup> Algunos autores afirman que los combinadores IBOC presentan una pérdida de inserción de 0,46 dB al transmisor analógico y 10 dB al transmisor digital, es decir, la potencia de entrada al combinador debe ser 10 % mayor de la salida para el transmisor analógico y diez veces mayor de la salida para el transmisor digital.

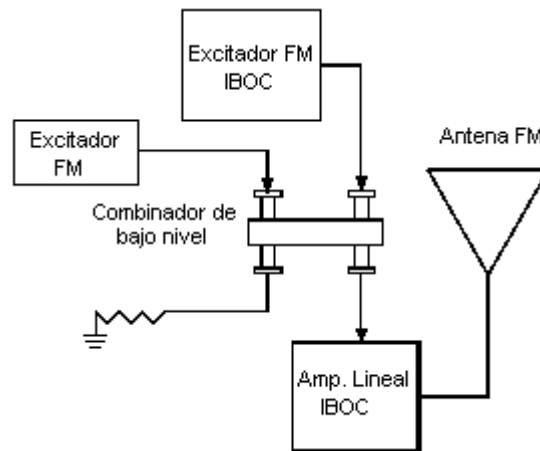


Figura 3-10. Combinación en bajo nivel

El tercer método es la implementación de antena aparte, éste se ilustra en la figura 3-11, actualmente se encuentra bajo investigación. Pruebas preliminares indican que la señal IBOC se puede transmitir desde una antena independiente que tenga una separación mínima de 40 dB de la antena analógica.

La ventaja de este último método es la eliminación de las pérdidas introducidas por el combinador, de esa manera se tiene un transmisor IBOC significativamente más pequeño.

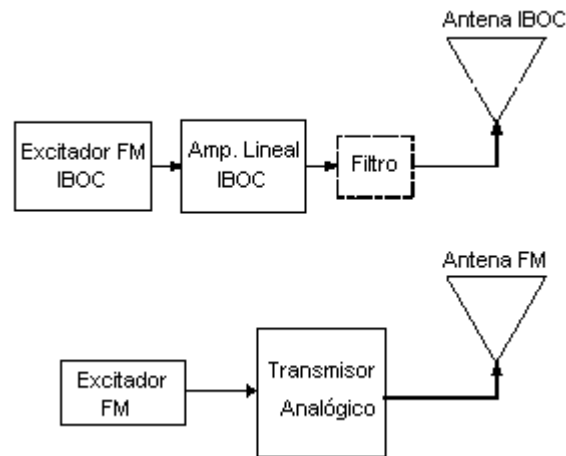


Figura 3-11. Sistema de antenas independiente.

### 3.6 FORMAS DE ONDA Y ESPECTRO

A continuación se describirá el espectro para cada uno de los tres tipos de formas de onda. Cada espectro está dividido en varias bandas laterales, las cuales representan agrupaciones de varias portadoras. Todo el espectro está representando en bandabase.

### 3.6.1 División de frecuencias y convenciones espectrales.

Las subportadoras OFDM están agrupadas dentro de divisiones de frecuencia. Cada división de frecuencia está compuesta por 18 subportadoras y una subportadora de referencia, como se muestra en las figuras 3-12 y 3-13. La posición de la subportadora de referencia varía con la localización de la división de frecuencia dentro del espectro.

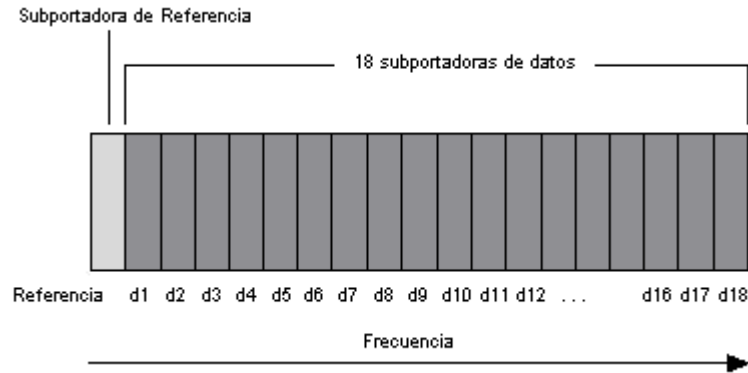


Figura 3-12. División de frecuencia A.

Para cada división de frecuencia, las subportadoras de datos d1 hasta d18 transportan SDUs del nivel 2, mientras las subportadoras de referencia transportan información de control del sistema. Las subportadoras están numeradas desde cero en la frecuencia central a  $\pm 546$ .

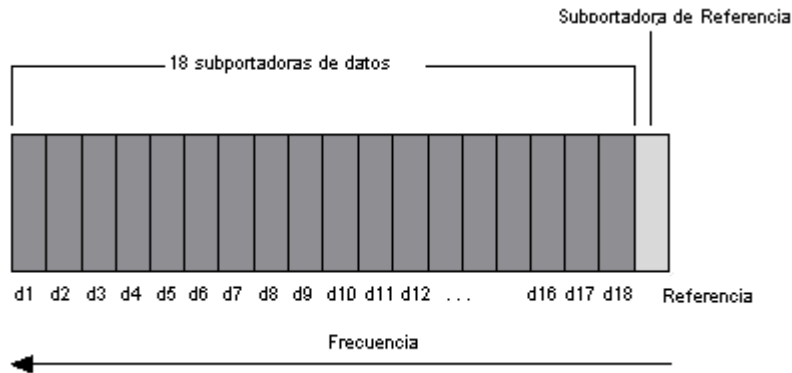


Figura 3-13. División de frecuencia B.

Además de las subportadoras de referencia residentes dentro de cada división de frecuencia, dependiendo del modo de servicio, hasta cinco subportadoras de referencia adicionales se insertan dentro del espectro, en los números de subportadoras  $-546$ ,  $-279$ ,  $0$ ,  $279$ , y  $546$ . El efecto global es una distribución regular de las subportadoras de referencia a lo largo del espectro. Por conveniencia en la notación, a cada subportadora de referencia se asigna un número de identificación único entre cero y sesenta. Todas las subportadoras de referencia de la banda lateral inferior se muestran en la figura 3-14, y las subportadoras de referencia de la banda lateral superior se muestran en la figura 3-15. Las figuras indican la relación entre el número de la subportadora de referencia y el número de las subportadoras OFDM.



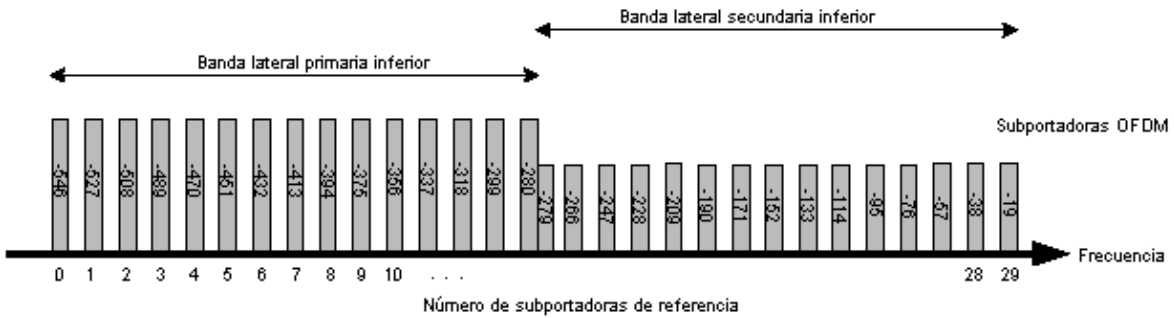


Figura 3-14. Mapeo espectral de la subportadora de referencia banda inferior

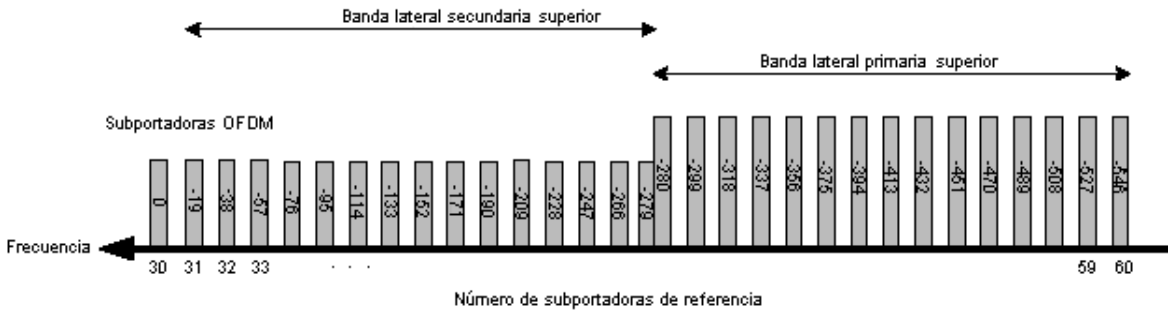


Figura 3-15. Mapeo espectral de la subportadora de referencia banda superior

### 3.6.2 Espectro híbrido

La señal digital se transmite en las bandas laterales primaria principal (PM, Primary Main) sobre cualquiera de los lados de la señal analógica FM, como se muestra en la figura 3-16. Cada banda lateral PM está conformada por diez divisiones de frecuencia, a las cuales se asigna entre 356 hasta 545 subportadoras, o -356 hasta -545. Las subportadoras 546 y -546, además incluidas en las bandas laterales PM, son subportadoras adicionales de referencia. La amplitud de la subportadora dentro de la banda lateral PM está uniformemente escalonada por un factor de escala de amplitud,  $a_0$ . La tabla 3-3 resume las bandas laterales PM superior e inferior para la onda Híbrida.

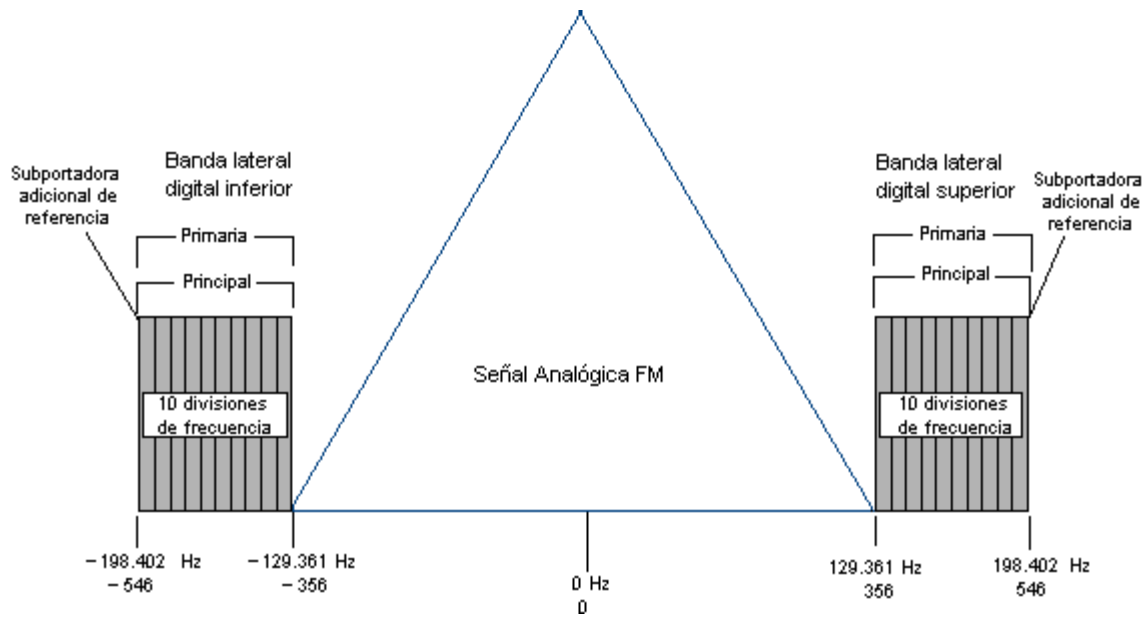


Figura 3-16. Forma de onda híbrida para FM

Tabla 3-3. Resumen de la forma de onda híbrida. Modo de servicio MP1.

Banda lateral	No de particiones de frec.	Orden de la división de frecuencia	Rango de subportadora	Frecuencias de la subportadora	Factor de escala de amplitud	Intervalo de frecuencia	Comentarios
Primario Principal Superior	10	A	356 a 546	129.361 a 198.402	$a_0$	69.041	Incluye una subportadora adicional de referencia 546
Primario Principal Inferior	10	B	-356 0-546	-129.361 a -198.402	$a_0$	69.041	Incluye una subportadora adicional de referencia -546

### 3.6.3 Espectro híbrido extendido

La forma de onda híbrida extendida se crea adicionando bandas laterales primarias extendida a las bandas laterales primarias principales en la actual onda híbrida, como se muestra en la figura 3-17. Dependiendo del modo de servicio, uno, dos o cuatro divisiones de frecuencia se pueden adicionar al borde interior de cada banda lateral PM.

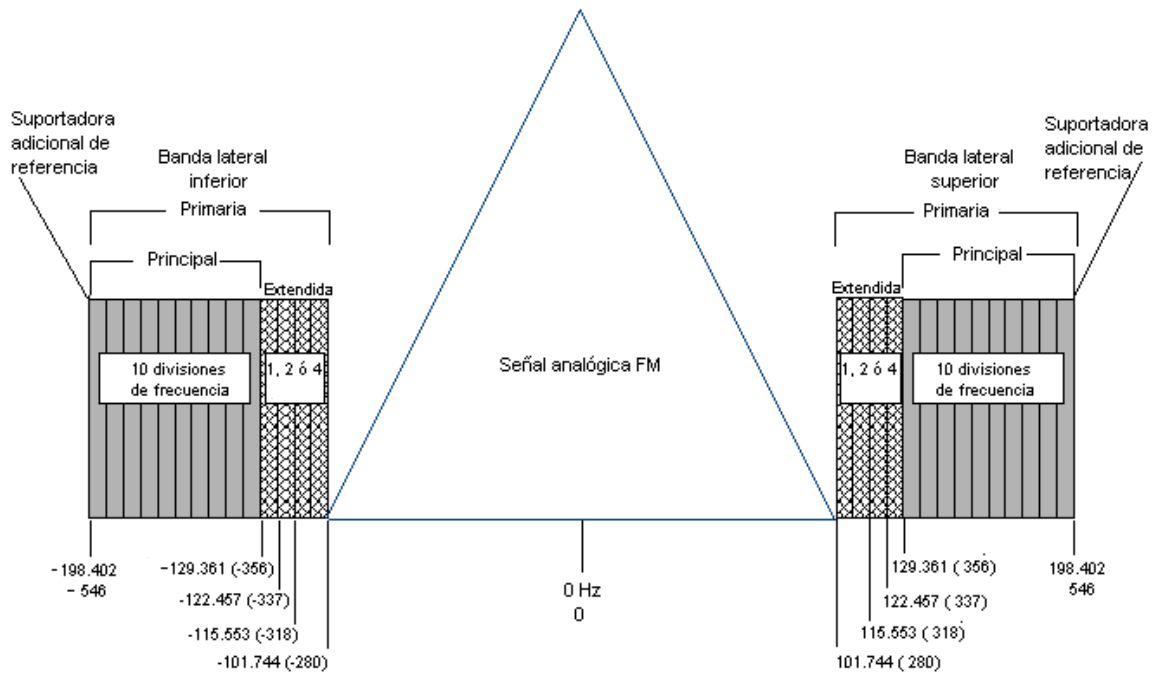


Figura 3-17. Forma de onda del modo Híbrido extendido para FM

Cada banda lateral PM consta de diez divisiones de frecuencia y una subportadora de referencia adicional, en el intervalo de 356 hasta 546 o -356 hasta -546. Las bandas laterales primarias extendida superior incluyen subportadoras de 337 hasta 355 (una división de frecuencia), 318 hasta 355 (dos divisiones de frecuencia), o 280 hasta 355 (cuatro divisiones de frecuencia). Las bandas laterales primaria extendida inferior incluyen suportadoras de -337 hasta -355 (una división de frecuencia), -318 hasta -355 (dos divisiones de frecuencia), o -280 hasta -355 (cuatro divisiones de frecuencia). Las subportadoras dentro de la banda Primaria Extendida están uniformemente escalonadas por el factor de escala de amplitud  $a_0$  al igual que las bandas laterales PM. La tabla 3-4 resume las bandas laterales primarias superior e inferior para la onda híbrida extendida.

Tabla 3-4. Espectro de la onda híbrida extendida. Modos de servicio MP2 a Mp4.

Banda lateral	No de particiones de frec.	Orden de la división de frecuencia	Rango de subportadora	Frecuencias de la subportadora	Factor de escala de amplitud	Intervalo de frecuencia	Comentarios
Primario Principal Superior	10	A	356 a 546	129.361 a 198.402	$a_0$	69.041	Incluye una subportadora adicional de referencia 546
Primaria principal inferior	10	B	-356 a -546	-129.361 a -198.402	$a_0$	69.041	Incluye una subportadora adicional de referencia -546
Primario Extendido Superior	1	A	337 a 355	122.457 a 128.997	$a_0$	6.540	Ninguno

Primario Extendido Inferior	1	B	-337 a -355	-122.457 a... -128.997	$a_0$	6.540	Ninguno
Primario Extendido superior	2	A	318 a 355	115.553 a 128.997	$a_0$	13.44	Ninguno
Primario Extendido Inferior	2	B	-318 a -355	-115.553 a -128.997	$a_0$	13.44	Ninguno
Primario Extendido superior	4	A	280 a 355	101.744 a 128.997	$a_0$	27.253	Ninguno
Primario Extendido Inferior	4	B	-280 a -355	-101.744 a -128.997	$a_0$	27.253	Ninguno

### 3.6.4 Espectro completamente digital.

Este tipo de onda resulta de la eliminación de la señal analógica, expandiendo completamente el ancho de banda de las bandas laterales digitales primarias, y adicionando las bandas laterales secundarias de mas baja potencia en el espectro que queda vacío cuando se remueve la señal analógica. En la figura 3-18 se muestra el espectro de la forma de onda completamente digital.

En adición a las diez divisiones de frecuencia principal, las cuatro divisiones de frecuencia extendida están presentes en cada banda lateral primaria de la forma de onda completamente digital. Cada banda lateral secundaria además tiene diez divisiones de frecuencia secundaria principal (SM, Secondary Main) y cuatro Secundarias Extendidas. A diferencia de las bandas laterales primarias, sin embargo, las divisiones de frecuencia Principal Secundaria se mapean adyacentes al centro del canal con las divisiones de frecuencia extendida más allá del centro.

Cada banda lateral secundaria además soporta una pequeña región Secundaria Protegida (SP, Secondary Protected) que consiste de 12 subportadoras OFDM y subportadoras de referencia 279 y -279. Las bandas laterales se conocen como protegidas porque están localizadas en el área del espectro menos propenso a ser afectado por interferencia analógica o digital. Una subportadora de referencia adicional está localizada en el centro del canal (0).

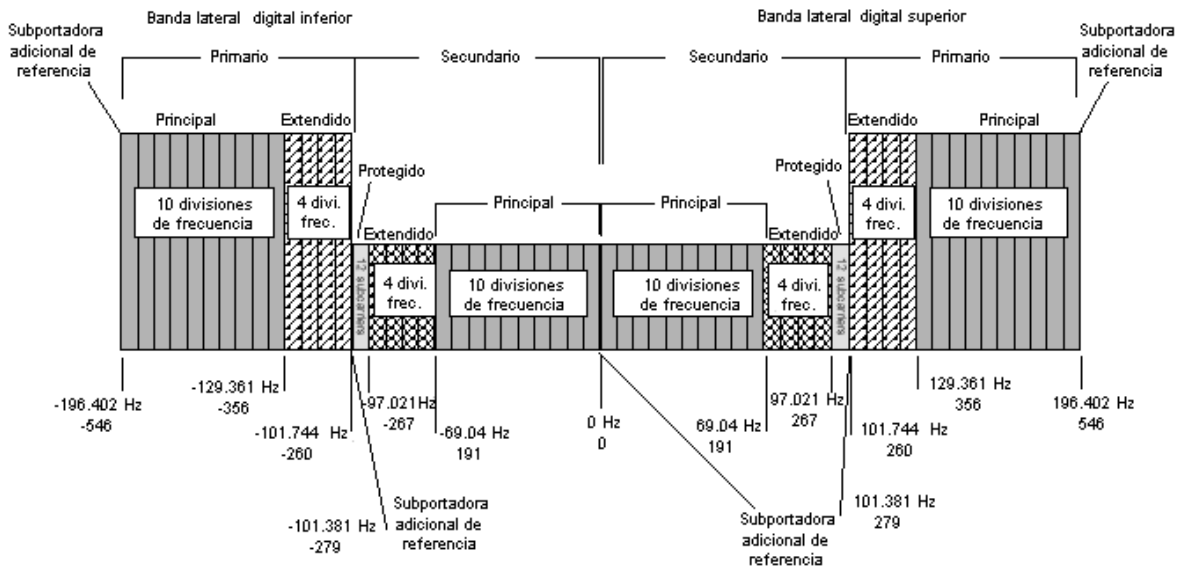


Figura 3-18. Forma de onda, modo completamente digital para FM

En la tabla 3-5 se resume las banda laterales superior e inferior, primaria y secundaria para esta forma de onda.

Tabla 3-5. Espectro de la onda completamente digital. MP5 a Mp7, MS1 a MS4

Banda lateral	No de particiones de frec.	Orden de la división de frecuencia	Rango de subportadora	Frecuencias de la subportadora	Factor de escala de amplitud	Intervalo de frecuencia	Comentarios
Primario Principal Superior	10	A	356 a 546	129.361 a 198.402	$a_2$	69.041	Incluye una subportadora adicional de referencia 546
Primario principal inferior	10	B	-356 a -546	-129.361 a -198.402	$a_2$	69.041	Incluye una subportadora adicional de referencia -546
Primario Extendido Superior	4	A	280 a 355	101.744 a 128.997	$a_2$	27.253	Ninguno
Primario Extendido Inferior	4	B	-280 a -355	-101.744 a -128.997	$a_2$	27.253	Ninguno
Principal Secundario superior	10	B	0 a 190	0 a 69.041	$a_2$	69.041	Incluye una subportadora adicional de referencia 0
Principal Secundario Inferior	10	A	-1 a -190	-363 a -69.041	$a_2$	68.678	Ninguno
Secundario Extendido superior	4	B	191 a 266	69.04 a 96.667	$a_4 - a_7$	27.253	Ninguno

Secundario Extendido Inferior	4	A	-191 a -266	-69.04 a - 96.57	$a_4 - a_7$	27.253	Ninguno
Secundario Protegido Superior	N/A	N/A	267 a 279	97.021 a 101.381	$a_4 - a_7$	4.360	Incluye una subportadora adicional de referencia 279
Secundario Protegido Inferior	N/A	N/A	-267 a -279	-97.021 a -101.381	$a_4 - a_7$	4.360	Incluye una subportadora adicional de referencia 279

### 3.7 NIVELES DEL IBOC AM

Las especificaciones de desempeño IBOC están organizadas en términos de los estándares OSI (Open System Interconnection) de ISO (International Standards Organization). Las definiciones de este modelo se resumen a continuación:

Nivel 5 (Aplicación). Presenta contenido al usuario.

Nivel 4 (Codificación). Codificación de contenido específico (ejemplo: PAC, HTML) tan bien como identificación de la estación y capacidades de control.

Nivel 3 (Transporte). Uno o más protocolos específicos utilizados para proveer robustez y eficiencia en la transferencia de datos del Nivel 4.

Nivel 2 (Servicio de Mux). Detección de error, direccionamiento. Su principal función es configurar los datos recibidos desde el nivel 3 en tramas de transferencia discretas para el procesamiento por el nivel 1.

Nivel 1 (Nivel físico). Modulación, FEC, conformación de tramas y procesamiento de señal (codificación, entrelazado) necesario para convertir la señal recibida de los niveles superiores en la forma de onda IBOC AM para transmisión en la banda FM asignada.

El nivel 1 se puede ser simplemente como un "tubo" para la difusión de datos con un grado específico de servicio; la codificación fuente, la conformación de las tramas y la Multiplexación del contenido del programa la realizan los niveles superiores. Sin embargo el sistema IBOC provee diferentes configuraciones llamadas modos de servicio, en los cuales, el número, robustez y rendimiento de los "tubos de datos", llamados canales lógicos puede variar. La información y control es transportada en tramas de transferencia discretas vía múltiples canales lógicos a través de los SAP del nivel 1. Las tramas de transferencia de información se conocen como SDUs del nivel 1.

#### 3.7.1 Formas de onda y espectro.

El diseño provee un medio flexible de transición a un sistema de radiodifusión digital por medio del uso de dos nuevos tipos de formas de onda: Híbrido y Completamente digital.

3.7.1.1 Forma de onda Híbrida. La señal digital se transmite en las bandas laterales primaria y secundaria sobre cualquier lado de la señal analógica, así como debajo de la señal analógica en la bandas laterales terciarias.

La potencia total de todas las bandas laterales digitales está significativamente debajo de la potencia total de la señal analógica AM. El nivel de cada subportadora OFDM dentro de una banda lateral primaria o secundaria se fija en un valor constante.

En la banda lateral terciaria, los niveles de potencia de la subportadora OFDM para la forma de onda híbrida no son fijos, pero se pueden ajustar. En adición, hay dos subportadoras de referencia para el sistema de control cuyos niveles están fijos en un valor que es diferente de las otras bandas laterales.

La señal analógica es una señal monofónica. El sistema híbrido no soporta transmisiones AM estéreo.

**3.7.1.2 Forma de onda completamente digital.** En esta forma de onda la señal analógica se reemplaza con las bandas laterales primarias cuya potencia se incrementa en relación a los niveles de la forma de onda Híbrida. En adición, las bandas laterales secundaria y terciaria se mueven a cualquier lado de la banda lateral primaria y su potencia se incrementa en relación a los niveles Híbridos. El resultado final es una señal digital de más alta potencia con una reducción del ancho de banda total. Estos cambios proveen una señal digital más robusta que es menos susceptible a la interferencia de canal adyacente. Las subportadoras de referencia son además provistas para transportar información de control del sistema. Sus niveles están fijos en un valor que es diferente de las otras bandas laterales.

### **3.7.2 Canal de control del sistema**

El canal de control del sistema (SCCH, System Control Channel) transporta información de estado y control. El control de modo de servicio (PSM, Service Mode), el control de retardo de diversidad analógico (DD), el control de ancho de banda de audio analógico (AAB, Analog Audio Bandwidth) y el control de nivel de potencia (PL, Power Level) se envían del nivel 2 al nivel 1, mientras que la información de sincronización se envía del nivel 1 al nivel 2. En adición, varios bits de la secuencia de datos del control del sistema denominados "reservados" se controlan desde los niveles arriba del nivel 1 vía la interfaz "datos de control reservado".

Cuatro modos de servicio fijan todas las configuraciones permisibles de los canales lógicos:

- Modo de servicio híbrido MA1
- Modo de servicio híbrido MA2
- Modo de servicio completamente digital MA3
- Modo de servicio completamente digital MA4

### **3.7.3 Canales lógicos**

Un canal lógico es un trayecto de señal a través del cual se conduce SDUs de nivel 1 en tramas de transferencia dentro de y fuera del nivel 1 con un grado específico de servicio, determinado por el modo de servicio. El nivel 1 de la interfaz aérea AM provee cuatro canales lógicos a los protocolos de nivel más alto: P1, P2, P3 y PIDS. P1, P2 y P3 están hechos para transferencia de audio y datos de propósito general, mientras que el canal PIDS está diseñado para transportar servicios de datos de

información IBOC. Los canales lógicos P1 y P2 están diseñados para ser más robustos que el canal lógico P3. Los canales lógicos P1 y P3 están disponibles para todos los modos de servicio, mientras que P2 está solamente disponible para modos de servicio específico. Esto permite una transferencia de información que puede ser ajustada para conformar diversas aplicaciones.

Los modos MA2 y MA4 proveen rendimiento más alto que MA1 y MA3 haciendo disponible un canal lógico adicional (por ejemplo el P2) a expensas de la robustez del P1. La velocidad aproximada de cada uno de los cuatro canales lógico para cada uno de los modos de servicio se muestra en la tabla 3-6.

Tabla 3-6. Velocidad de información de los canales lógicos AM

Modo de servicio	Velocidad información (Kbps)				Forma de onda
	P1	P2	P3	PIDS	
MA1	20	0	16	0.4	Híbrido
MA2	20	20	16	0.4	Híbrido
MA3	20	0	20	0.4	Completamente digital
MA4	20	20	20	0.4	Completamente digital

El desempeño de cada canal lógico está completamente descrito a través de tres parámetros de caracterización: transferencia, latencia, y robustez. La codificación del canal, el mapeo espectral, la profundidad del entrelazador, y el retardo de diversidad son los componentes de estos parámetros. El modo de servicio únicamente configura estos componentes para cada canal lógico activo, por consiguiente permite la asignación de los parámetros apropiados.

En adición, el modo de servicio especifica la conformación de la trama y la sincronización de las tramas de transferencia dentro de cada canal lógico activo.

3.7.3.1 Componentes funcionales. En la figura 3-19 se muestra un diagrama en bloques del procesamiento realizado en el nivel 1. Audio y datos se pasan de los niveles OSI más altos al nivel físico, el MODEM, a través de los SAPs de nivel 1.



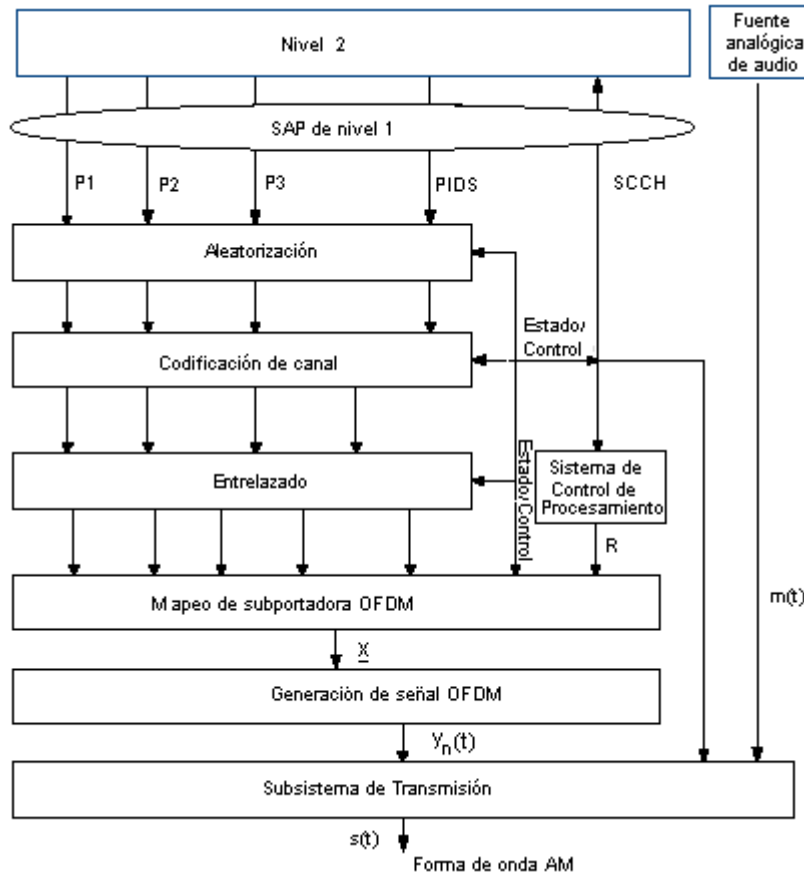


Figura 3-19. Diagrama en bloques del nivel 1

- Punto de acceso al servicio de nivel 1. El SAP L1 define la interfaz entre el nivel 2 y el nivel 1 de la pila de protocolos del sistema. Cada canal entra al nivel 1 una trama de transferencia discreta, con tamaño único y velocidad determinada por el modo de servicio. Las tramas de transferencia que transportan información desde el nivel 2 se conocen como SDUs de nivel 1.
- Aleatorización. Esta función aleatoriza los datos digitales transportados en cada canal lógico para suavizar la periodicidad de la señal. A la salida de la aleatorización, los vectores del canal lógico retienen su identidad.
- Codificación del canal. Esta función utiliza codificación convolucional para adicionar redundancia a los datos digitales en cada canal lógico para mejorar su confiabilidad en la presencia de deterioros del canal. El tamaño del vector del canal lógico se incrementa en proporción inversa a la velocidad de código. Las técnicas de codificación se configuran por modo de servicio. El retardo de diversidad se impone sobre canales lógicos seleccionados. A la salida del codificador de canal, los vectores retienen su identidad.
- Entrelazado. El entrelazado en tiempo y frecuencia se emplea para suavizar los efectos de los errores "burst". Las técnicas de entrelazado son adecuada para los ambientes de interferencia no uniformes y son configurables por modo de servicio. En este proceso el canal lógico pierde su identidad.

- Procesamiento del control del sistema. Esta función genera un vector de secuencia de datos de control del sistema que incluye información de sistema de control recibida del nivel 2 (tal como modo de servicio), y estado para la difusión sobre las portadoras de referencia.
- Mapeo de la subportadora OFDM. Esta función asigna las matrices entrelazadoras y el vector de control del sistema a las subportadoras OFDM. Una fila de cada matriz entrelazadora activa y un bit del vector de control del sistema se procesa cada símbolo OFDM (cada  $T_s$  segundos) para producir un vector  $\underline{X}$ , el cual es una representación en el dominio de la frecuencia de la señal.
- Generación de la señal OFDM. Esta función genera la parte digital de la forma de onda IBOC AM en el dominio del tiempo. Los vectores de entrada  $\underline{X}$  se transforman dentro de un pulso en banda base en el dominio del tiempo,  $y_n(t)$ , definiendo un símbolo OFDM.
- Subsistema de transmisión. Esta función conforma la forma de onda en banda base para transmisión a través del canal FM. Algunas sub-funciones son pre-compensación, concatenación de símbolos y conversión de frecuencia. Cuando se transmite la forma de onda híbrida, esta función modula la fuente de audio analógico AM y la combina con la señal digital para formar una señal híbrida,  $s(t)$ , lista para transmisión.

### 3.8 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL

La generación de la señal OFDM recibe símbolos OFDM en el dominio de la frecuencia provenientes del mapeo de subportadora y su salida son pulsos en el dominio del tiempo que representan la parte digital de la señal IBOC AM. En la figura 3-20 se ilustra lo anteriormente dicho.

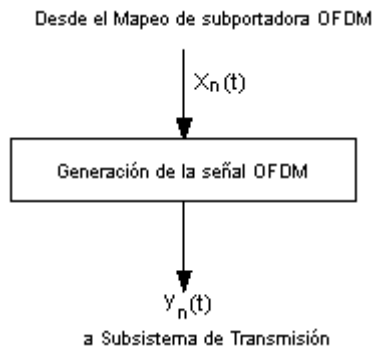


Figura 3-20. Diagrama de la generación de la señal OFDM

#### 3.8.1 Funcionalidad

$X_n[k]$  son los puntos de la constelación del mapeo de la subportadora OFDM para el símbolo  $n^{\text{th}}$  (enésimo), donde  $k = 0, 1, \dots, L-1$  representa los índices de las subportadoras OFDM.  $y_n(t)$  denota la salida en el dominio del tiempo para el enésimo símbolo.  $y_n(t)$  está escrita en términos de  $\underline{X}_n[k]$  como sigue:

$$y_n(t) = W(t - nT_s) \cdot \sum_{k=0}^{L-1} X_n[k] \cdot e^{j2\pi\Delta f \left[ k - \frac{(L-1)}{2} \right] (t - nT_s)} \quad (3.4)$$

donde  $n=0,1,\dots,\infty$ ,  $0 \leq t \leq \infty$ ,  $L = 163$  es el número total de subportadoras OFDM, y  $T_s$  y  $\Delta f$  son la duración del símbolo OFDM y el espaciamento entre portadoras respectivamente.

### 3.8.2 Subsistema de transmisión

El subsistema de transmisión estructura la banda base IBOC para transmisión a través del canal FM. Las funciones incluyen concatenación de símbolos, pre-compensación y conversión de frecuencias. En adición, cuando se transmite la onda Híbrida, esta función retarda, filtra y modula la señal de audio analógica en banda base antes de la combinación con la parte digital de la forma de onda.

La entrada a este modulo es un complejo, símbolo OFDM en banda base, en el dominio del tiempo,  $y_n(t)$ , desde la función de Generación de la Señal OFDM. Una señal de audio analógica en banda base,  $m(t)$ , es una entrada proveniente de una fuente analógica cuando se transmite la onda Híbrida. En adición, el control de retardo de diversidad (DD, Diversity Delay) entra en el nivel 2 vía el SCCH. La salida de este modulo es la forma de onda IBOC AM FM.

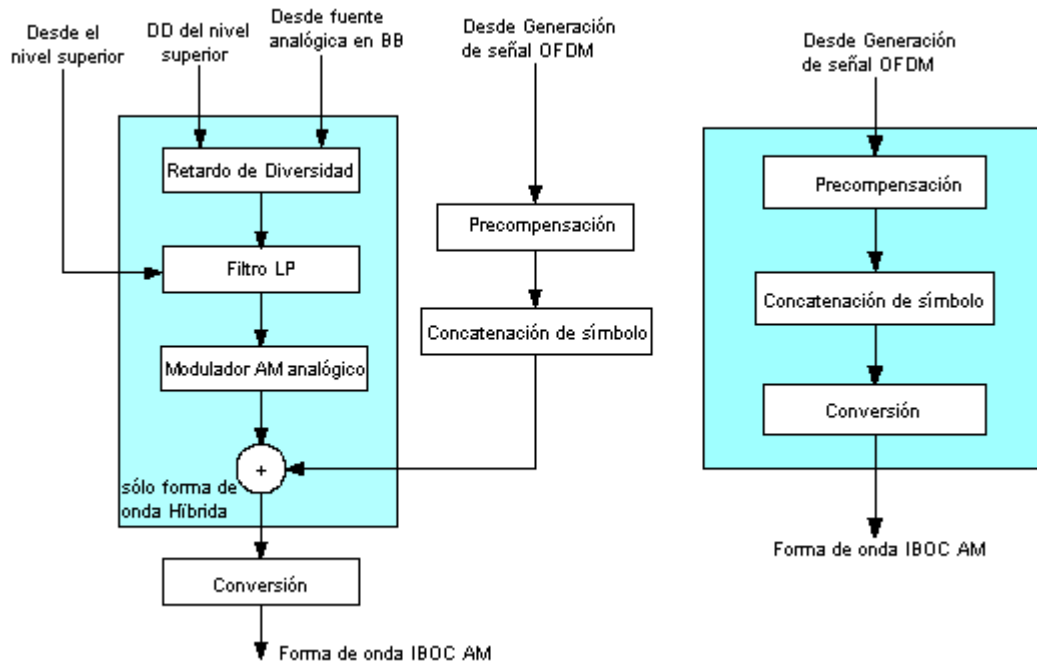


Figura 3-21. Subsistema de transmisión híbrido y completamente digital.

En la figura 3-21 se encuentra el diagrama en bloques del subsistema de transmisión híbrido y se encuentra el diagrama en bloques del subsistema de transmisión completamente digital.

### 3.8.3 Transmisores AM

Hasta este momento, existen el transmisor de tubos AM, diseño que no presenta suficiente linealidad para pasar la forma de onda IBOC, sin embargo se puede utilizar.

Para unas características de transmisión óptimas la impedancia de la antena podría ser  $50 \Omega$ . En la figura 3-22 se muestra la configuración que se requiere en el sitio transmisor.

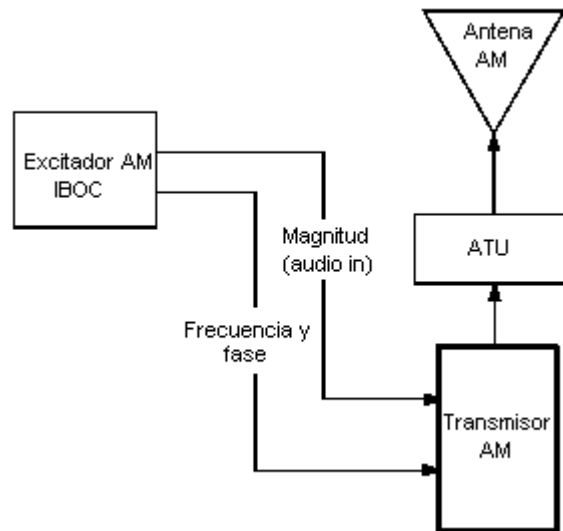


Figura 3-22. Transmisor AM

### 3.8.4 Componentes funcionales

A continuación se especifican los componentes funcionales del subsistema de transmisión.

- Concatenación de símbolo. Los símbolos individuales OFDM en el dominio del tiempo se concatenan para producir pulsos continuos sobre el  $t= 0, \dots, \infty$ , como sigue:

$$y(t) = \sum_{n=0}^{\infty} y'_n(t) \quad (3.5)$$

- Retardo por diversidad. Cuando se realiza la difusión de la forma de onda híbrida,  $y(t)$  se combina con la señal analógica  $a(t)$  como se muestra en la figura 3-21. El primer paso en la generación de  $a(t)$  es la aplicación de retardo por diversidad a la señal analógica en banda base  $m(t)$ .

El bit de control de retardo de diversidad (DD), recibido del nivel 2 vía el SCCH, lo utilizan los niveles superiores para habilitar o deshabilitar el retardo. Si el DD es 0 el retardo se deshabilita. Cuando el retardo se habilita, un retardo  $\tau_d$  ajustable se aplica a la señal analógica  $m(t)$  en banda base. El retardo se establece a fin de que, a la salida del combinador analógico/digital,  $a(t)$  atrase el contenido de audio de la correspondiente señal digital  $y(t)$  por  $T_{dd}$ . Por ejemplo si las señales analógica y digital transportan el mismo programa de audio, el audio analógico

podría ser retardado de la correspondiente señal digital por un tiempo  $T_{dd}$  a la salida del combinador analógico/digital. Cuando el estado de DD cambia mientras opera en modo de servicio MA1 o MA2, allí habrá una discontinuidad en la señal analógica.

- Filtro pasabajo. En modo híbrido, el proceso de filtrado está acorde al estado del control AAB (Analog Audio Bandwidth) recibido desde el nivel 2. Si el bit de control es cero, el audio analógico se filtra a un ancho de banda de 5 KHz. Si el bit es uno, el audio analógico es filtra a un ancho de banda de 8 KHz.
- Modulador AM Analógico. En la difusión de la forma de onda híbrida, este proceso calcula la envolvente de la señal analógica aplicando un índice de modulación y adicionando un offset DC, así:

$$a(t) = [1 + g \cdot m(t - T_{dd})] \quad (3.6)$$

donde  $a(t)$  es la envolvente,  $m(t - T_{dd})$  es el retardo de la fuente analógica y  $g$  es la ganancia de modulación. Típicamente,  $g = 1,25$ , representando  $a + 125\%$  del nivel de modulación. La entrada de fuente de audio analógica,  $m(t)$ , debe ser pre-procesada externamente al excitador AM IBOC, así que  $a(t)$  no toma valores negativos.

- Combinador analógico/digital. Cuando se realiza la difusión de la onda Híbrida la forma de onda en banda base AM analógica real,  $a(t)$ , se combina coherentemente con la forma de onda en banda base digital,  $y(t)$ , para producir una onda híbrida en banda base compleja IBOC AM,  $z(t)$ , de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Re}[z(t)] &= \text{Re}[y(t)] + a(t) \\ \text{Im}[z(t)] &= \text{Im}[y(t)] \end{aligned} \quad (3.7)$$

Los niveles de cada banda lateral digital en el espectro de salida son escalonados apropiadamente por el mapeo de subportadora OFDM.

Cambios en los modos de servicio de MA1 a MA2 o MA2 a MA1 no causarán interrupciones o discontinuidades en la señal analógica.

- Conversión de frecuencia. La señal digital concatenada  $z(t)$  se traslada de banda base a la frecuencia portadora RF como sigue:

$$s(t) = \text{Re}\left(e^{j2\pi f_c t} \cdot z(t)\right) \quad (3.8)$$

donde  $f_c$  es la frecuencia del canal RF y  $\text{Re}$  denota el componente real de la cantidad compleja. Para la forma de onda completamente digital,  $z(t)$  se reemplaza con  $y(t)$ .

La onda DAB IBOC AM se emite en la banda actual de AM y sus niveles de potencia y contenido espectral están limitados a estar dentro de la máscara espectral definidos en 47CFR&73.44<sup>16</sup>.

El espaciado de la portadora y los esquemas de numeración del canal son compatibles con 47CFR&73.14. Los canales están centrados en intervalos de 10 KHz en el rango de 540 a 1.700 KHz. Ambas partes analógica y digital, de la onda Híbrida están centradas sobre la misma portadora de frecuencia.

Sincronización GPS. Para asegurar una sincronización precisa, cada estación está sincronizada con un GPS "GPS locked".

Esto se logra a través de la sincronización con una señal sincronizada en tiempo y frecuencia al GPS.

### **3.9 FORMAS DE ONDA Y ESPECTRO**

A continuación se describirá el espectro para los dos tipos de formas de onda. Cada espectro está dividido en varias bandas laterales, las cuales representan agrupaciones de varias portadoras. Todo el espectro está representando en bandabase.

#### **3.9.1 Convenciones espectrales.**

A continuación se indicará el número de subportadora y la frecuencia central de ciertas subportadoras OFDM claves. La frecuencia central de una subportadora OFDM se calcula multiplicando el número de subportadora por el espaciado  $\Delta f$  de la subportadora. El centro de la subportadora cero se localiza a 0 Hz.

#### **3.9.2 Espectro híbrido.**

La señal digital se transmite en las bandas laterales primaria y secundaria sobre cualquiera de los lados de la señal analógica, así como también en las bandas laterales terciarias debajo de la señal analógica, como se muestra en la figura 3-23. En adición la información de estado y control se transmite en las subportadoras de referencia localizadas a cualquier lado de la portadora principal. Cada banda lateral tiene ambos componentes uno superior y uno inferior. El canal lógico PIDS se transmite en subportadoras individuales exactamente arriba y abajo de los bordes de frecuencia de las bandas laterales secundaria superior e inferior. El nivel de potencia de cada subportadora OFDM es fijo relativo a la portadora analógica principal sin modular. Sin embargo, el nivel de potencia de las subportadoras secundaria, PIDS y terciaria es ajustable.

La tabla 3-7 resume las características espectrales de la forma de onda híbrida. Las subportadoras individuales están numeradas desde -81 hasta 81 con la subportadora central en la subportadora número 0. La tabla 3-7 lista los rangos de frecuencia aproximados y anchos de banda para cada banda lateral.

---

<sup>16</sup> Normas emitidas por la FCC.

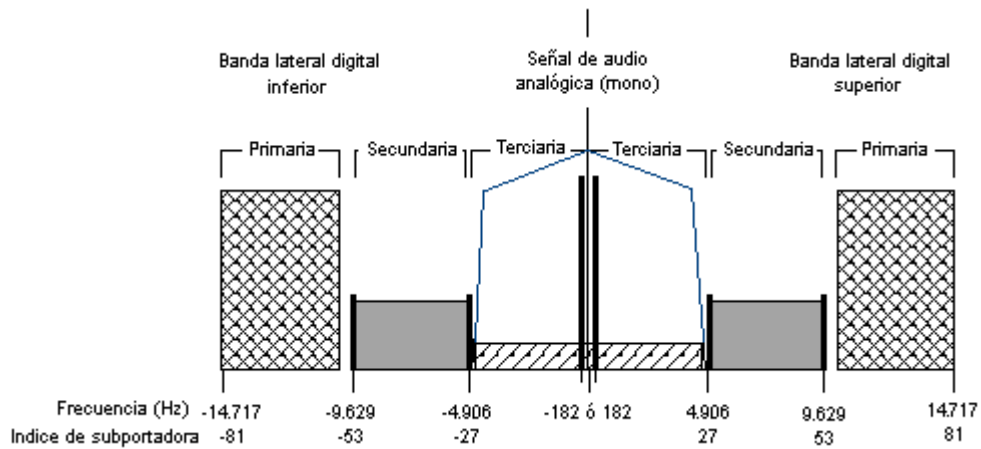


Figura 3-23. Forma de onda híbrida AM

El factor de escala de amplitud que se encuentra en las tablas 3-7 y 3-8 se refiere a la constante de multiplicación usada para escalar las subportadoras individuales a los propios niveles relativos a la portadora principal sin modular.

Tabla 3-7. Resumen de la forma de onda híbrida.

Banda lateral	Rango de subportadora	Frecuencias de la subportadora	Intervalo de frecuencia	Factor de escala de amplitud
Primario Superior	57 a 81	10.353,1 a 14.716,6	4.360,5	CH <sub>p</sub>
Primario Inferior	-57 a -81	-10.353,1 a -14.716,6	4.360,5	CH <sub>p</sub>
Secundaria Superior	28 a 52	5.087,2 a 9.447,7	4.360,5	CH <sub>s1</sub> o CH <sub>s2</sub>
Secundaria Inferior	-28 a -52	-5.087,2 a -9.447,7	4.360,5	CH <sub>s1</sub> o CH <sub>s2</sub>
Terciaria superior	2 a 26	363.4 a 4723.8	4.360,4	CH <sub>T1</sub> [0:24] CH <sub>T2</sub> [0:24]
Terciaria Inferior	-2 a -26	-363.4 a -4723.8	4.360,4	CH <sub>T1</sub> [0:24] CH <sub>T2</sub> [0:24]
Referencia Superior	1	181.7	181.7	CH <sub>B</sub>
Referencia Inferior	-1	-181.7	181.7	CH <sub>B</sub>
IDS1	27	4.905,5	181.7	CH <sub>I1</sub> o CH <sub>I2</sub>
IDS2	53	9.629,4	181.7	CH <sub>I1</sub> o CH <sub>I2</sub>

### 3.9.3 Espectro completamente digital.

En la forma de onda completamente digital, la señal analógica se reemplaza con las bandas laterales primarias de más alta potencia. El espectro de este modo se ilustra en la figura 3-24. El resumen de las características de la onda se encuentran en la tabla 3-8.

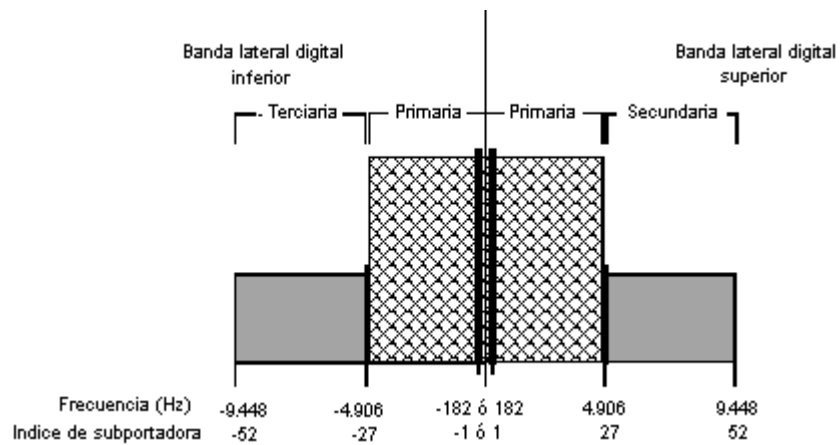


Figura 3-24. Forma de onda AM completamente digital.

Tabla 3-8. Resumen de la forma de onda completamente digital

Banda lateral	Rango de subportadora	Frecuencias de la subportadora	Intervalo de frecuencia	Factor de escala de amplitud
Primario Superior	2 a 26	363,4 a 4.723,8	4.360,5	CD <sub>p</sub>
Primario Inferior	-2 a -26	-363,4 a -4.723,8	4.360,5	CD <sub>p</sub>
Secundaria	28 a 52	5.087,2 a 9.447,7	4.360,5	CD <sub>E</sub>
Terciaria	-28 a -52	-5.087,2 a -9.447,7	4.360,5	CD <sub>E</sub>
Referencia Superior	1	181.7	181.7	CD <sub>B</sub>
Referencia Inferior	-1	-181.7	181.7	CD <sub>B</sub>
IDS1	27	4.905,5	181.7	CD <sub>1</sub>
IDS2	-27	4.905,5	181.7	CD <sub>1</sub>



## **4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESTANDARES EUREKA 147 E IBOC**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

En los años 80, con la introducción de las tecnologías digitales en los procesos de producción de audio, se produjo un desequilibrio entre la producción y la difusión del sonido radiofónico. Actualmente, la tecnología digital puede aumentar hasta un 50% la calidad del sonido producido con técnicas convencionales, pero este aumento no llegará al 100% hasta que la transmisión sea también digital. Esto constituye un reto importante para los radiodifusores dado que el oyente, que toma como referencia actual la calidad del sonido digital de los discos compactos (CD, Compact Disk), comienza a exigir la misma calidad en el sonido radiofónico.

La transmisión con técnicas analógicas sufre los problemas de la degradación de la señal, que va acumulando ruidos y distorsiones en cada una de las etapas por las que va pasando. En cambio, con la técnica digital, la señal sufre menos degradaciones, ya que se incorporan métodos de corrección de errores para corregir las distorsiones que puedan alterar la información. De esta forma, la información digital es fácilmente transportable, almacenable y utiliza menor espacio. Además, la información digital se puede procesar lo cual permite que los receptores actúen como pequeños computadores que pueden tratar la información, y esto afecta no sólo al sonido sino a todos los datos que el radiodifusor quiera enviar para dar un valor agregado a su servicio.

En resumen, las técnicas digitales mejoran la calidad de transmisión y recepción, permiten el desarrollo de nuevas técnicas de producción y ofrecen mayor variedad de servicios que las técnicas analógicas; esto beneficia tanto a radiodifusores como a oyentes.

### **4.2. LA RADIODIFUSIÓN DIGITAL EN EL ENTORNO COLOMBIANO FRENTE A LA RADIODIFUSIÓN CONVENCIONAL**

#### **4.2.1. Ventajas**

- Posibilidad de enviar datos auxiliares hasta los receptores, como información del tiempo y del clima, situación de tráfico, datos de GPS, estado de las carreteras, seguridad vial, zonas de conflicto, sectores peligrosos de las ciudades, programas educativos, etc, así como el envío de información relacionada al programa en curso como puede ser la identificación del programa al aire, identificación de la pieza musical al aire, nombre del artista que la ejecuta, etc.
- Eficiencia en la utilización del espectro y la potencia. Se consigue intercalando señales de varios programas junto a una especial característica de reuso de frecuencia (Single Frequency Network, SFN) que permite a las redes de difusión extenderse, virtualmente sin límite, gracias a transmisores adicionales que llevan a

cabo la multiplexación en la misma frecuencia. Utiliza un único bloque para una red internacional, nacional, regional o local con transmisores de baja potencia.

- Mejoras en la recepción. La información transmitida se reparte tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia de manera que los efectos de la distorsión del canal y la atenuación se pueden eliminar de la señal recibida en el receptor, incluso cuando se trabaja en condiciones de fuerte propagación multitrayecto (debido a las condiciones geográficas del territorio Colombiano), mediante la codificación y multiplexación de las señales en OFDM (Orthogonal Frequency División Multiplexing), distribuyendo la información entre un elevado número de frecuencias. Para proteger la señal de errores de transmisión el sistema se vale de 2 técnicas llamadas UEP y EEP (Unequal/Equal Error Protection). La primera es la preferible, por cuanto ofrece mayor protección para los datos más críticos.
- Calidad de sonido equivalente a la de un CD gracias a la capa II del estándar MPEG para Audio (también conocido como MUSICAM). Este sistema aprovecha el efecto de enmascaramiento que se produce debido a las características psicoacústicas del oído humano, ya que éste no es capaz de percibir todos los sonidos presentes en un momento dado, y por tanto no es necesario transmitir los sonidos que no son audibles. De esta forma eliminamos la información redundante. Típicamente el múltiplex contiene 6 programas de audio estéreo de gran calidad (192 kbps) usando el estándar MPEG-1 Audio, además de servicios adicionales.
- Flexibilidad. Los servicios pueden estructurarse y configurarse dinámicamente. Por ejemplo, una emisora de radio durante un programa donde se debate o dialoga puede emitir utilizando una velocidad baja (con 64 o 96 kbps es suficiente), ocupando un ancho de banda pequeño, mientras que a otras horas puede emitir audio estéreo con velocidades mayores (128 o 192 kbps) y por lo tanto con más ancho de banda.
- La tecnología analógica actual ha demostrado eficacia, rentabilidad y fiabilidad para sus usuarios; se ha implantado en Colombia con menores costos que los que requeriría la tecnología digital. Sin embargo, para los productores los márgenes de beneficio son escasos (dado que la oferta supera a la demanda) y las innovaciones son raras, lo cual supone escasas oportunidades de nuevos segmentos de mercado. Al pasar a la tecnología digital las cosas cambiarían radicalmente.

#### **4.2.2. Desventajas**

- Inversiones que afectarían todo el sistema de la radio. Es decir, éstas deberán considerar inversiones en estudio, enlaces y obviamente en transmisores que digitalicen y cuiden la señal desde su nacimiento hasta su radiación al aire.
- Otra de las mayores desventajas de la transición a radiodifusión digital será la que encuentren los oyentes, quienes definitivamente deberán empezar a considerar un incremento sustancial en el costo de adquirir receptores digitales. Este paso será muy parecido a lo sucedido con la TV a color en Colombia en la década de los 70's que permitió que los usuarios hicieran una transición paulatina de acuerdo con sus posibilidades adquisitivas. Lo que se busca es que los receptores sean compatibles con el estándar IBOC, Eureka y la radio convencional, o que sólo sea necesario un cambio de software, para poder funcionar con cualquiera de los estándares que se han mencionado.

### **4.3. EL SISTEMA IBOC FRENTE AL SISTEMA EUREKA 147**

#### **4.3.1. Ventajas**

- Las inversiones que se estiman necesarias para operar en el sistema digital en las frecuencias de AM y FM que actualmente están en vigencia, tal como lo propone el sistema IBOC, dependerán de la reutilización que se pueda hacer del equipo actualmente en estudios. La parte de radiación de la energía, es decir línea de transmisión y antena, se constituye en la parte del sistema que con seguridad podrá ser reutilizado. Esta es una gran ventaja ya que reduce significativamente la inversión de los radiodifusores en equipos.
- El valor agregado más destacado del sistema IBOC es la capacidad para que la emisora decida cuántos datos quieren poner en el audio y cuántos en la información añadida. Si no están interesados en ésta última entonces pueden poner el máximo de los datos en el audio para obtener así una mejor calidad. Además, el sistema IBOC está diseñado para transmitir la señal digital junto con la señal analógica de tal forma que los usuarios que aun no han adquirido receptores digitales pueden seguir recibiendo la señal analógica en sus receptores convencionales hasta que puedan migrar a la tecnología digital.
- Los receptores IBOC son inherentemente más simples y a más bajo costo que los receptores, de la nueva banda, como los utilizados con Eureka 147.

#### **4.3.2. Desventajas**

- Deben hacerse consideraciones de mayor separación entre canales. Así la propuesta para AM exige un ancho de banda de al menos 30 KHz, lo que implica una separación de 40 KHz entre cada estación, a diferencia de los 20 KHz que actualmente se dispone. Para FM se exige una separación mínima de 200 KHz, lo que también exigirá un fuerte estudio, pruebas de campo, para determinar si es necesaria o no una redistribución del espectro de FM actualmente en uso.

### **4.4. EL SISTEMA EUREKA 147 FRENTE AL SISTEMA IBOC**

#### **4.4.1. Ventajas**

- El sistema Eureka 147 exige que todos los servicios en una zona pasen por un proveedor de matriz digital central. Este papel de vigilante puede reglamentarse en países centralizados, como Colombia, con el fin de controlar la piratería.
- Mayor eficiencia espectral, debido al uso de redes SFN y al proceso de multiplexación utilizado.
- Este sistema cuenta con un gran grupo de expertos, dispuestos a dar un adecuado soporte técnico a quienes estén interesados en su sistema; además es un sistema muy maduro, debido a la gran cantidad de tiempo que lleva trabajándose en su desarrollo y al número de pruebas que se han hecho.

#### **4.4.2. Desventajas**

- Cambio de manera radical en el uso del espectro de frecuencias para la radiodifusión de las señales, puesto que este sistema propone la utilización de la banda L para las transmisiones de radiodifusión. Esto obligaría a replantear el uso de las bandas y además la necesidad de adquisición de transmisores totalmente nuevos y diferentes a los que actualmente existen en Colombia. Obviamente esta opción requerirá de inversiones altas y una decidida intervención estatal.

#### **4.5 ELECCIÓN DEL ESTÁNDAR MAS ADECUADO PARA COLOMBIA**

Con base en los apartados anteriores, se hace evidente que la mejor opción para Colombia es la incorporación del estándar IBOC, por las siguientes razones:

- El sistema básicamente permite una mejora en la calidad de las actuales emisiones en AM y en FM. Esta mejora se logra mediante el uso de transmisores o excitadores digitales que codifican la señal, aprovechando el ancho de banda de las señales actuales.
- Soluciones como la propuesta por el Ibiquty permiten una suave transición del sistema analógico al digital, soportada en los modos de funcionamiento ofrecidos por esta tecnología, ya que en un principio se podría trabajar en el modo híbrido y con el paso del tiempo pasar al modo completamente digital, tanto para la radiodifusión en AM como en FM.
- Este sistema es apoyado por los Estados Unidos con quienes Colombia tiene mayores contactos comerciales en el ámbito de la radiodifusión, lo cual facilitaría el soporte técnico que éstos puedan brindar a la hora de la transición analógico/digital.
- El sistema Eureka 147 opera en la banda L, lo cual no es conveniente para Colombia, pues es en esa banda ya operan algunos sistemas de comunicaciones.
- Las tecnologías actuales de AM y FM seguirán siendo durante muchos años la mejor alternativa en los países en desarrollo como Colombia. Estos sistemas pueden instalarse y recibir mantenimiento a escala local y no es necesario esperar que haya dinero a raudales procedente de la economía para mantener en funcionamiento los equipos de alta tecnología ni para pagar patentes de investigación y desarrollo garantizadas por convenios de derechos intelectuales de autor lo cual es importante para la incorporación de nuevas tecnologías.
- Quienes apoyan el sistema Eureka 147 han hecho, sin duda alguna, mucho por mejorar la tecnología y no cabe duda de que este sistema está cobrando fuerza como norma internacional. Pero es difícil prever que se pueda llegar a una aceptación mundial de esta tecnología. Muchos países asiáticos de la zona del Pacífico están indecisos y hay poco interés por Eureka 147 por parte de Estados Unidos y los países latinoamericanos, sobre todo por los costos que implica la implantación de este sistema.
- Finalmente IBOC, ofrece la posibilidad a los radiodifusores de entrar a la industria de los datos inalámbricos al más bajo costo.

## **5. MODELO PARA EL DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL EN COLOMBIA**

A continuación se presenta un modelo para el diseño de una estación de radiodifusión digital para Colombia, teniendo en cuenta los actuales planes técnicos AM y FM para Colombia y el estándar IBOC, estudiado en el capítulo 3.

Al igual que en el diseño de una emisora convencional, el sistema de radiodifusión digital se compone de tres grandes partes:

- Diseño de los Estudios<sup>17</sup>.
- Enlace de los Estudios al Transmisor.
- Sistema de Transmisión.

El sistema IBOC, se relaciona directamente con la parte de transmisión, parte del principio de que el estudio es digital, es decir, los equipos en el estudio (o estudios) usan tecnología DSP (Digital Signal Processing) y, es precisamente el motivo por el cual a lo largo de este capítulo no se hace mucho énfasis en esta parte del diseño, a pesar de que muy probablemente este sea el primer gran paso que deban dar las emisoras, en cuanto a su digitalización.

### **5.1 GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN**

A continuación se describirán los elementos a tener en cuenta para el diseño de una estación de radiodifusión digital utilizando el sistema IBOC, tanto para las emisoras en AM como en FM.

#### **5.1.1 Equipos de los estudios**

Como lo estipula los planes técnicos para AM y FM, el concesionario está en libertad de escoger los equipos que estime conveniente operar en los estudios. Claro está, siempre y cuando, éstos sean de una calidad tal, que se contribuya de manera positiva, para que la señal a transmitir sea de una alta calidad.

No se debe olvidar que la calidad del sistema de radiodifusión es tan buena como el audio que alimenta el sistema de transmisión. IBOC no puede superar cualquier ruido o deterioro de audio introducido antes de la transmisión, lo cual hace enteramente necesario digitalizar primeramente el estudio. Con los costos de almacenamiento digital decreciendo rápidamente, es aconsejable re-estudiar los métodos de almacenamiento actualmente empleados en los estudios.

---

<sup>17</sup> El estudio es el sitio donde se encuentran los equipos necesarios para producir los programas que se quiere emitir.

A continuación se lista el mínimo de equipos que debe tener en el estudio o estudios de una estación de radiodifusión IBOC:

- Consola/Mezclador
- Reproductor / Grabador de audio.
- Micrófonos
- Audífonos
- Parlantes para monitoreo
- Amplificador
- Procesador digital de audio
- Compresor/Limitador
  
- Se requiere una UPS, es decir, fuente de potencia ininterrumpida.

Los diseñadores en iBiquity<sup>18</sup> anticipan que los radiodifusores desearán procesar el audio analógico de forma separada del digital. Por esta razón, el sistema IBOC tiene dos entradas de audio. Esto significa que se necesitarán dos procesadores de audio. Para redundancia en la cadena de audio completa, se recomienda el uso de cuatro procesadores de audio. Los procesadores de audio aprovecharán los dispositivos DSP.

Los demás equipos requeridos en los estudios están sujetos al tipo de servicio que el radiodifusor desee ofrecer.

### **5.1.2 Enlace estudio-transmisor**

Si el procesamiento de audio se realiza en el sitio transmisor, se podría emplear un sistema STL analógico común, cuya salida alimentaría a las dos cadenas independientes de procesamiento de audio, una para el componente digital de la señal y una para el componente analógico.

Las estaciones que consideren conveniente tener todo el procesamiento de audio localizado en el estudio, deberán comprar un nuevo STL, ya que se deben llevar los dos flujos independientes de audio al sitio transmisor.

Debido a que actualmente son pocos los fabricantes para la tecnología IBOC, los STL que se encuentran en el mercado funcionan en la banda de 900 a 940 MHz, esta banda en Colombia se encuentra atribuida a los sistemas de radiobúsqueda, es por eso que si se desea ofrecer servicios de valor agregado, hasta tanto no se fabriquen STL adecuados a la banda de funcionamiento para Colombia, se debe utilizar un dispositivo que permita adaptar los flujos de datos a los STLs convencionales<sup>19</sup>.

Las estaciones en la banda AM, necesitarán un STL para transportar el programa analógico procesado (ancho de banda limitado a 5 KHz mono) en adición al flujo de audio codificado PAC, el cual estará alrededor de 100 Kbps después de que el FEC se adiciona.

---

<sup>18</sup> Ibiqity es el actual desarrollador del estándar final para la tecnología IBOC

<sup>19</sup> TFT INC es uno de los fabricantes de esta clase de dispositivos.

Los STLs de las estaciones en la banda FM tendrán que transportar la señal analógica (dos canales de audio de 15 KHz) junto con el flujo de datos codificado PAC, el cual requiere aproximadamente 240 Kbps, después de que el FEC se adiciona.

El camino más económico en cuanto al STL es localizar el procesador en el sitio transmisor, para tener que entregar sólo una señal a éste.

Recientes tendencias en el desarrollo de STL se han centrado sobre la reducción en los requerimientos de ancho de banda de sistemas STL digitales basados en RF y Telco (Telephon Company). En el caso de los sistemas basados en RF, esto se hace con el fin de facilitar un camino digital dentro del limitado espectro RF del canal STL.

El sistema STL debe proveer transporte bidireccional de audio combinado con otra clase de tráfico, incluyendo datos LAN/WAN, video.<sup>20</sup>

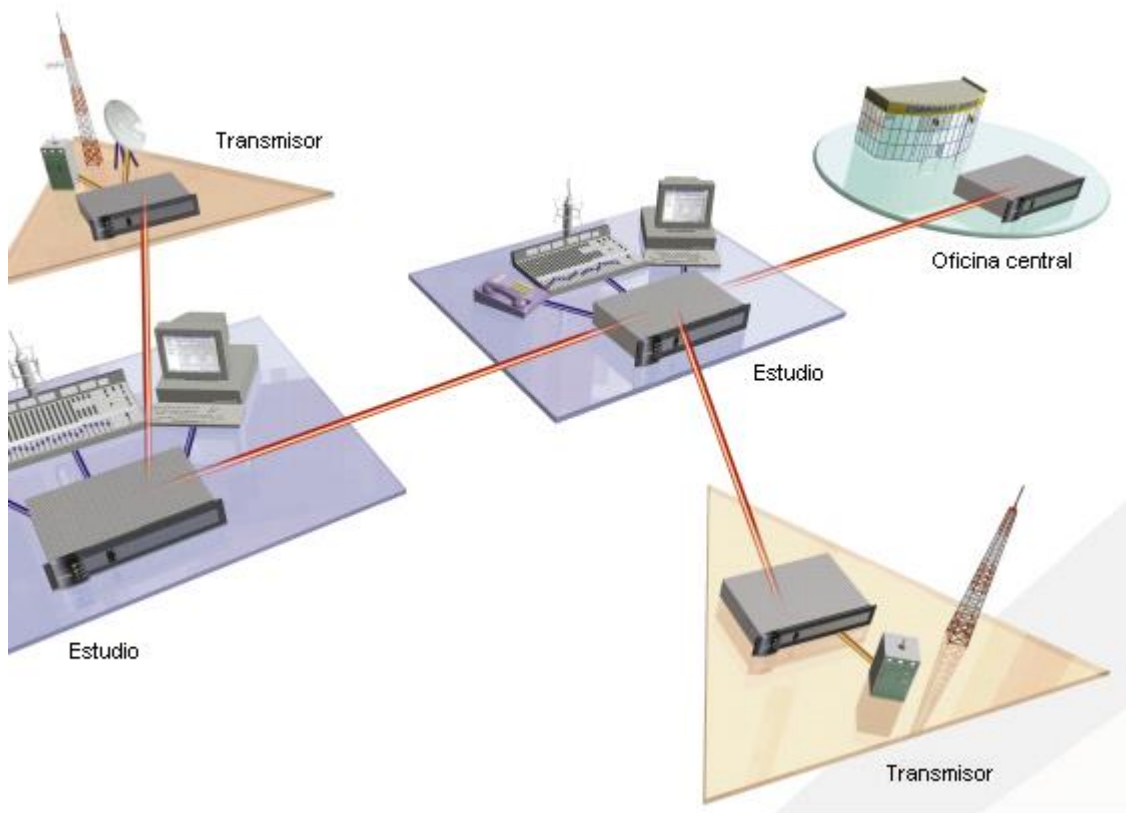


Figura 5-1. Enlace estudio-transmisor

Como se puede apreciar en la figura 5-1 el sistema STL puede proveer la conexión con otros estudios, con sitios donde se almacenen datos y con el sitio transmisor.

El enlace puede ser un radioenlace o un enlace cableado. Se podría usar el enlace analógico existente, pero debe ser un sistema discreto (canales izquierdo y derecho separados).

<sup>20</sup> Estas son características propias de los STLs digitales diseñados para la tecnología IBOC, para la banda de 900 a 940 MHz.

Los equipos mínimos requeridos son los siguientes:

Equipo para el enlace (TX/RX)

- Antena
- Torre
- Sistema de Protección contra descarga
- Cables y conectores
- MODEM/Multiplexor, en el caso de que se desee ofrecer servicios de valor agregado.

### **5.1.3 Sistema de Transmisión**

Los radiodifusores en AM, necesitarán estrechar el ancho de banda analógico para acomodar las bandas laterales IBOC sobre el espectro asignado. Esta no es una dificultad delicada dirigida hacia los radiodifusores, porque aunque las estaciones AM emiten a 10 KHz, el receptor AM analógico típico sólo logra oír 3 KHz. En la transición inicial a digital cuando una estación esté operando en un modo híbrido y digital, AM analógico podría ocupar 5KHz e IBOC digital podría ocupar 5 KHz del espectro permitido.

Las estaciones con un transmisor de banda ancha y un sistema de antena podrían ser capaces de adicionar IBOC por un poco más del costo de un generador de señal IBOC.

El Generador de señal provee magnitud y fase directamente al transmisor de estado sólido BE (Banda Estrecha). Provee una solución AM y genera AM e IBOC simultáneamente.

El generador acepta una señal AES/EBU<sup>21</sup> desde el estudio y la parte en dos caminos, uno analógico y uno digital. La señal se envía a procesadores separados antes de ser devuelta al generador donde se sincroniza la señal analógica y la señal digital y la señal digital se codifica. Las dos señales se combinan y la información de fase y amplitud se envía directamente al transmisor de estado sólido.

Se requiere un procesador de audio aparte para el camino digital.

En cuanto, a la radiodifusión en FM, los equipos requeridos en el sistema de transmisión estarán sujetos a la elección de cualquiera de los tres métodos mencionados en el capítulo tres.

En general, los equipos mínimos son los siguientes:

- Transmisor. El diseño del equipo transmisor debe ajustarse a los parámetros técnicos establecidos en los actuales Planes técnicos para AM y FM y a las características de operación autorizadas a la estación de radiodifusión sonora, sin embargo, se debe aclarar que en el caso de las emisoras en AM, cuyos transmisores son de tubos al vacío, éstos no pueden ser reutilizados debido a su

---

<sup>21</sup> Audio Engineering Society and the European Broadcast Union. Interfaz estándar establecida por esta organización



insuficiente linealidad. Mientras que los transmisores AM usan PDM (Modulación por duración de pulsos), los transmisores AM de estado sólido usan modulación digital y se pueden utilizar para transmitir la señal IBOC sin muchas modificaciones. Las estaciones en FM, requieren un amplificador altamente lineal.

El transmisor debe contar con los instrumentos de medición indispensables para comprobar sus parámetros de operación. Igualmente, deberá estar provisto de un control automático de frecuencia, que garantice el funcionamiento de la estación en la frecuencia asignada, dentro del margen de tolerancia establecido.

- Línea de transmisión. La línea de transmisión que se utilice para alimentar la antena debe ser cable coaxial, cuya impedancia característica permita un acoplamiento adecuado entre transmisor y antena, con el fin de minimizar las pérdidas de potencia.
- Antena. En el caso de FM la antena que se utilice podrá ser de polarización horizontal, circular o elíptica. En este último caso la potencia de la componente vertical de la potencia radiada aparente (PRA), no debe exceder la PRA. de la componente horizontal, y en ningún caso las componentes vertical u horizontal podrá exceder la potencia autorizada.

La antena debe instalarse en forma tal que su patrón de radiación quede orientado en el espacio, de manera que la máxima potencia se radié hacia el área urbana del municipio para el cual se autoriza la estación de Radiodifusión sonora.

En el caso de AM las estaciones de radiodifusión sonora en Ondas Hectométricas deberán utilizar antenas de un cuarto (1/4) o un medio (1/2) de longitud de onda de la frecuencia de operación.

Se requiere un sistema de antena de banda ancha, es suficiente una antena que soporte AM estéreo. Se recomienda el uso de una antena cuyo VSWR sea 1.1:1

- Estructura para el soporte de la antena. La construcción e instalación de la torre destinada al soporte de la antena queda sujeta al cumplimiento de los reglamentos y normas de construcción y de seguridad que ordenen los organismos competentes.
- Equipos de medición y control. Toda estación de radiodifusión sonora en ondas métricas deberá tener los siguientes equipos:
  - Un monitor de modulación
  - Un monitor de frecuencia o contador digital.

#### **5.1.4 Ubicación de la Estación**

- Estudios. Los estudios de la estación de radiodifusión sonora tanto en AM como en FM deberán estar ubicados en el municipio o distrito para el cual se otorga la concesión del servicio, sin perjuicio de que el concesionario pueda modificar su ubicación libremente dentro de dicho municipio o distrito, notificando por escrito previamente al Ministerio de Comunicaciones, la nueva ubicación de los mismos.

- Sistema de Transmisión. Las estaciones de radiodifusión sonora tanto en AM como en FM deberán ubicar el sistema de transmisión fuera del perímetro urbano del municipio o distrito para el cual se otorga la concesión del servicio, pero dentro de su delimitación geográfica, en el lugar donde no se sobrepase la máxima altura permitida para el centro de radiación de la antena. Se recomienda consultar el plan de ordenamiento territorial del municipio antes de elegir el sitio transmisor, para estar completamente seguros de que el sitio elegido cumple con lo establecido en el plan técnico.

El Ministerio de Comunicaciones podrá autorizar, excepcionalmente, la ubicación del sistema de transmisión en FM dentro del perímetro urbano de un municipio o distrito, siempre y cuando se demuestre técnicamente la imposibilidad de ubicarlos en el área rural.

Igualmente, podrá autorizar de manera excepcional la ubicación del sistema de transmisión tanto en AM como en FM por fuera de la delimitación geográfica del municipio o distrito para el cual se otorga la concesión, cuando agotadas las posibilidades establecidas en los dos párrafos anteriores, se demuestre técnicamente la imposibilidad de cubrir el 100% del área urbana del respectivo municipio o distrito sede de la estación.

## **5.2 SISTEMA DE TRANSMISIÓN**

Cuando se realiza el diseño de una estación de radiodifusión digital en AM o en FM, lo que realmente varía de una estación a otra es el sistema de transmisión, ya que es en esta parte del diseño donde juega un papel determinante las frecuencias de operación asignadas y las potencias de transmisión, al igual que la configuración elegida, que puede ser cualquiera de las mencionadas en el capítulo tres.

Tanto para las estaciones AM como las FM es recomendable un filtro pasabanda a la salida del transmisor para prevenir problemas causados por la intermodulación con otros transmisores.

Las frecuencias de operación y las potencias de operación para estaciones IBOC AM o FM serán las mismas que se encuentran actualmente definidas en los planes técnicos. De lo estudiado en el capítulo tres se puede notar que la potencia de operación asignada a las emisoras no debe ser cambiada lo que varía es la relación de la potencia de la señal analógica a la señal digital.

IBOC por ser un estándar diseñado por Estados Unidos y de cierta forma para Estados Unidos, parte del hecho de que el ancho de banda actual para los canales FM analógico es de 200 KHz y para AM analógico es de 20 KHz, a diferencia del plan de frecuencias colombiano que para las estaciones FM asigna canales de 100 KHz de ancho de banda y para AM los canales son de 10 KHz de ancho de banda. Sin embargo, dada la asignación de frecuencias a lo largo del territorio colombiano, los canales ya asignados podrían tener un ancho de banda que se adecuó al estándar IBOC, es decir, 200 KHz para FM y 20 KHz para AM, sin que esto genere interferencias, claro está, esto debe ser corroborado a través de pruebas de campo.

### **5.2.1 Transmisión en AM**

En la figura 5-2 se muestra un sistema de transmisión en AM híbrido.

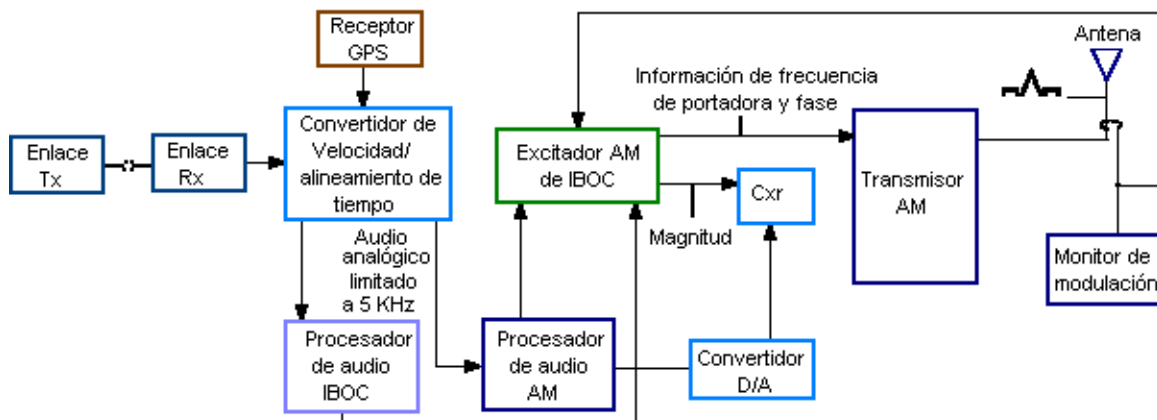


Figura 5-2. Sistema de transmisión AM híbrido

Se deben considerar los siguientes puntos.

- Sintonización de antena igual que en AM estéreo.
- El requerimiento de ancho de banda para el STL es de 15 KHz.
- Ancho de banda del transmisor analógico de 5 KHz.

Los equipos necesarios son:

- Transmisor de estado sólido linealizado.
- Generador de señal IBOC AM.
- STL estéreo.
- Sistema de antena de banda ancha, plano. Un sistema de antena que soporte AM estéreo es suficiente.
- Procesamiento de audio analógico, con la banda limitada a 5 KHz.
- Procesador de audio separado para el camino digital.
- Monitoreo de pre-retardo.
- Antena GPS.
- Espacio adicional en el rack para equipos.

Cabe resaltar, que los anteriores equipos serán necesarios si lo que se quiere es diseñar una emisora IBOC AM híbrida. En un futuro no muy lejano, se espera que el diseño de emisora IBOC AM sea completamente digital, en tal caso, el esquema de diseño se simplificaría debido fundamentalmente a que se obviaría por completo el buscar compatibilidad con el actual sistema analógico, en la figura 5-3 se puede observar un diagrama en bloques de un sistema de transmisión AM completamente digital. En la práctica, la señal digital en la portadora digital sería 13 dB por encima de

la portadora digital en el sistema híbrido. Los requerimientos de antena permanecen iguales.

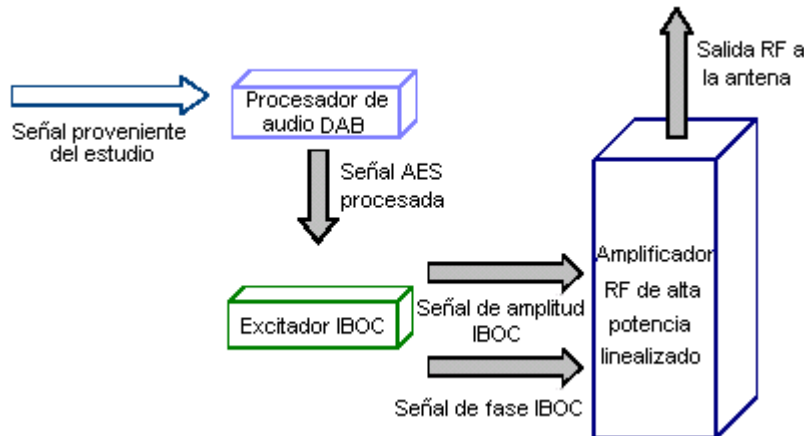


Figura 5-3. Sistema de transmisión AM completamente digital.

La transición final, la codificación y velocidad de datos permanecerá igual que en el sistema AM híbrido, es decir, 48 Kbps utilizando el algoritmo PAC de Lucent. Habrá un flujo de datos adicional disponible en el sistema completamente digital, pero estará limitado a 16 Kbps, con un pequeño retardo de tiempo.

### 5.2.2 Transmisión en FM

A continuación se presentan las posibles configuraciones que puede tener el sistema FM IBOC y los equipos que se requieren en cada caso.

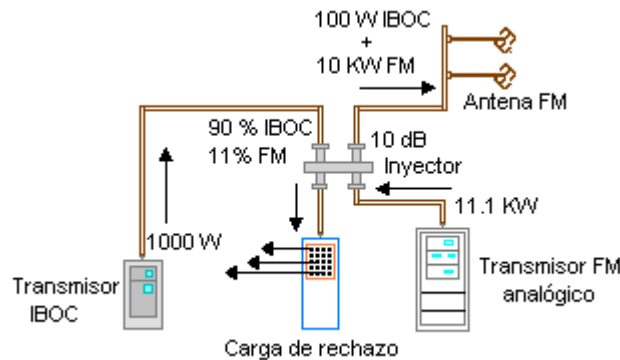


Figura 5-4. Sistema FM IBOC con amplificación separada

- El esquema básico detallado de la combinación en alto nivel (transmisor FM e IBOC separados respectivamente, combinados a la entrada de la antena) se puede observar en la figura 5-4.

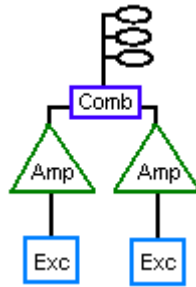


Figura 5-5. Combinación en alto nivel

En la figura 5-5 se puede observar el esquema general de la combinación en alto nivel, ésta se debe considerar si:

- El transmisor existente o un transmisor que se está planeando comprar tiene un 11% más de potencia a la salida de la que se realmente se necesita utilizar, esto para compensar las pérdidas en los combinadores.

Se determina la potencia de salida del transmisor digital teniendo en cuenta las características del actual sistema analógico. Se debe partir del concepto de que la señal digital debe estar 22 dB debajo de la señal analógica. Además, los actuales combinadores IBOC presentan una pérdida de inserción de 0,46 dB al transmisor analógico y 10 dB al transmisor digital, es decir, la potencia de entrada al combinador debe ser 10 % mayor de la salida para el transmisor analógico y diez veces más grande de la salida para el transmisor digital.

- Nivel de potencia: tiene más de 14KW TPO (el costo por convertir transmisores para combinación de niveles altos es el incremento en la potencia).
- Se tiene un sitio amplio para los transmisores separados.

Se debe mantener:

- Transmisor existente
- Excitador existente para FM analógico.

Se necesita:

- Excitador IBOC
- Generador de señal IBOC
- Transmisor lineal IBOC
- Inyector de 10 dB (combinador), mas línea y carga de rechazo.

Características

Este tipo de combinación se recomienda para requerimientos de potencia mayores a 10KW porque los costos para convertir transmisores para combinaciones en bajo nivel se incrementan con la potencia.

Pérdidas del inyector: 10 dB pérdidas en IBOC y 0,45 dB de pérdidas en FM analógico.

La relación pico a promedio es de 5,5 dB para la señal IBOC.

Redundancia inherente: algunos problemas del transmisor analógico no afectan a la señal digital y viceversa.

- El esquema básico de la combinación en bajo nivel (amplificación común) se muestra en la figura 5-6.

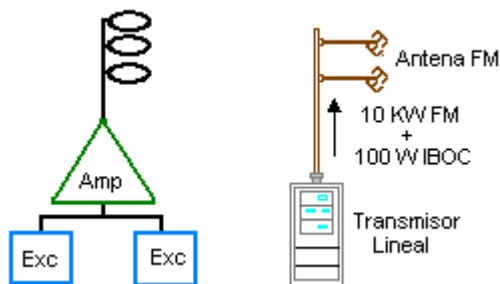


Figura 5-6. Combinación en bajo nivel.

Equipo necesario:

- Amplificador de estado sólido, de banda ancha y con mayor linealidad que los de FM actuales. Los transmisores valvulares, con sus amplificadores clase C y sus cavidades sintonizadas, no son capaces de la linealidad necesaria para la transmisión IBOC.

Si el transmisor con que se cuenta actualmente es de estado sólido, se podría adaptar<sup>22</sup> para que pase la señal digital, pero éste debe ser de banda ancha (sin amplificadores sintonizados). Estos amplificadores tendrán que convertirse de la operación clase C a la clase A o AB. Una vez convertido, el transmisor perderá entre el 30 % y 60 % de su capacidad de potencia. Dependiendo de la edad del transmisor actual, podría resultar más económico comprar uno nuevo especialmente diseñado para la transmisión IBOC.

- Excitador para la señal analógica y para la señal digital.
- Generador de señal IBOC.

Recomendaciones.

Es mejor utilizar este tipo de combinación para potencias menores o iguales a 10 KW, esto debido al alto costo de los amplificadores de alta potencia de estado sólido.

No requiere inyector externo.

La relación pico a promedio es más baja que en la combinación en alto nivel (1,5 dB).

---

<sup>22</sup> Esta adaptación debe ser hecha con la asesoría del fabricante.

Los problemas que se tengan con el transmisor afectan tanto la señal analógica como la digital.

Otras consideraciones para amplificación separada y común

- Se necesita un procesador de audio separado para la señal digital.
- Se puede usar el STL existente o adquirir uno nuevo digital, en ambos casos con Salida AES.
- UPS para el generador de señal IBOC
- Evaluar adicionalmente HVAC y carga AC
- Capacidad de monitoreo de pre-retardo.
- Antenna GPS

Finalmente, se debe resaltar que el costo total de la conversión al sistema de transmisión IBOC dependerá de factores tales como:

Potencia de la emisora (depende de la clase, A, B, C o D).

En caso de la emisora FM, se debe considerar que tipo de combinación que se utilizará.

En el caso de las emisoras AM, el aspecto más crítico a evaluar es el ancho de banda de la antena.

La antigüedad de los equipos con que se cuenta actualmente en las estaciones.

La conversión resulta más fácil si la emisora cuenta ya con estudios y enlaces digitales.

El espacio en la planta de transmisión es suficiente o se requiere aumentarla para albergar los nuevos equipos.

Lo anteriormente expuesto es aplicable a los diseños de una emisora IBOC FM híbrida, pero en el diseño de una emisora completamente digital, al igual que para AM, se obviaría el buscar la compatibilidad con los sistemas analógicos actuales, lo que facilitaría el diseño, el diagrama en bloques para un sistema de transmisión FM completamente digital se puede observar en la figura 5-7.

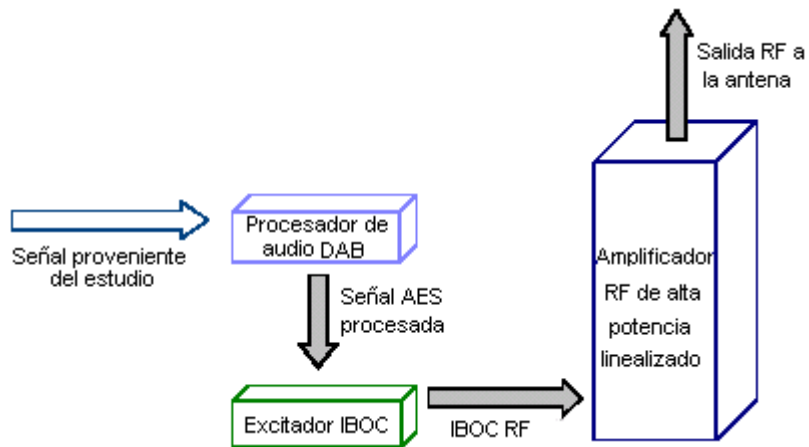


Figura 5-7. Sistema de transmisión FM completamente digital

El sistema FM completamente digital contendrá un flujo de datos secundario, también retardado levemente en tiempo y limitado a 24 Kbps. La señal principal será transmitida utilizando el algoritmo PAC, con una velocidad de datos de 128 Kbps o 96 Kbps. El nivel de la portadora digital será incrementado aproximadamente 10 dB en comparación con el sistema FM híbrido. El uso de un solo tipo de transmisor, obviamente elimina la necesidad de combinadores de alta potencia o antenas separadas.



## **6. DISEÑO DE UNA ESTACIÓN FM IBOC EN POPAYÁN**

Con el fin de dar mayor claridad al modelo de diseño, a lo largo de este capítulo se realiza el diseño de una estación de radiodifusión digital para la ciudad de Popayán, teniendo en cuenta que muy probablemente las primeras emisoras en digitalizarse sean las ya existentes, considerando aspectos tales como que éstas ya tienen un segmento de mercado ganado y además la mayoría de oyentes en un primer momento no comprarán receptores digitales sólo para escuchar una "nueva emisora", para desarrollar este diseño se eligió la emisora de la Universidad del Cauca; dado que para digitalizar una emisora convencional es necesario conocer las especificaciones técnicas de los equipos con que cuenta y éste tipo de datos sería más fácil obtenerlos de esta emisora, no sólo a través de sus funcionarios, sino también, por medio de una tesis donde está su diseño.

Aunque, como ya se especificó en el capítulo anterior, el diseño se divide en tres grande partes, diseño de los estudios, enlace estudio/transmisor y el sistema de transmisión. Básicamente el modelo está enfocado a la parte de transmisión y sólo se mencionará lo estrictamente necesario, en lo que se refiere a los estudios.

### **6.1 ESPECIFICACIONES PARA LA EMISORA SEGÚN EL PLAN TÉCNICO FM**

Las especificaciones que aparecen en el plan técnico FM son las que determinan las características de los equipos que se deben adquirir para la puesta en funcionamiento de la emisora.

En el caso de la Emisora de la Universidad del Cauca, se tienen las siguientes especificaciones:

- Frecuencia 104,1 MHz;
- Distintivo HJC20;
- Potencia máxima 5 KW;
- Clase C<sup>23</sup>;
- La emisora está ubicada en el municipio de Popayán, cuya altura media sobre el nivel del mar es de 1.738 m, la altura máxima permitida para el centro de radiación de la antena es de 120 m y la frecuencia asignada para el enlace entre estudios y transmisores es 302,9 MHz.

---

<sup>23</sup> Según el plan técnico para FM la potencia mínima es 250 W y la máxima es de 5 Kw.

## 6.2 DISEÑO DE LOS ESTUDIOS

Los estudios deben atender a las necesidades de producción de los programas de la emisora, en el caso de la emisora de la Universidad del Cauca, el 60% de los programas que se emiten, son grabados previamente, por esta razón se cuenta con tres estudios de grabación, con los equipos necesarios, en cada uno:

Reproductor / grabador de CD

Reproductor / grabador de minidisc

Consola / mezclador

Micrófonos

Audífonos

Sólo en el estudio de control, es decir, donde se tiene la consola que está conectada directamente con el procesador de audio y que es donde se hacen las emisiones en directo y también de los programas previamente grabados, se cuenta además con:

Un PC, con música y un programa que permite "gestionar" la música (winamp).

Reproductor / grabador de casete

Reproductor / grabador de discos de vinilo, aunque en la mayoría de emisoras ya no se utilizan, en la emisora resulta muy útil, porque existen algunos programas musicales, a cargo de coleccionistas, para los cuales este equipo es indispensable.

Aunque estos equipos son suficientes para el tipo de programas que se están emitiendo, un buen referente a la hora de comprar nuevos equipos, para introducir mejoras en la calidad de audio en los estudios, se puede encontrar en la tesis Diseño de una Estación en FM<sup>24</sup>.

Para la prestación de los servicios básicos de valor agregado tales como<sup>25</sup>: nombre de la emisora, título de la canción que se está emitiendo, eslogan publicitarios, concursos, etc, se requiere mínimo los siguientes equipos<sup>26</sup>:

Software de automatización DRS 2006.

Tarjeta Delta 1010 LT. Esta tarjeta se utilizará en lugar de una consola digital, ya que su costo es menor, y realiza las mismas funciones.

Codificador Inovonics 711.

La nueva configuración en los estudios sería como se muestra en la figura 6.1.

---

<sup>24</sup> Rodríguez, Feriz. Diseño de una estación de radiodifusión comunitaria para una entidad sin ánimo de lucro. Universidad del Cauca, Popayán, 2002.

<sup>25</sup> Servicios de valor agregado más avanzados estarán sujetos a las necesidades de los oyentes y a la penetración de esta tecnología.

<sup>26</sup> Los catálogos se encuentran en el anexo B.

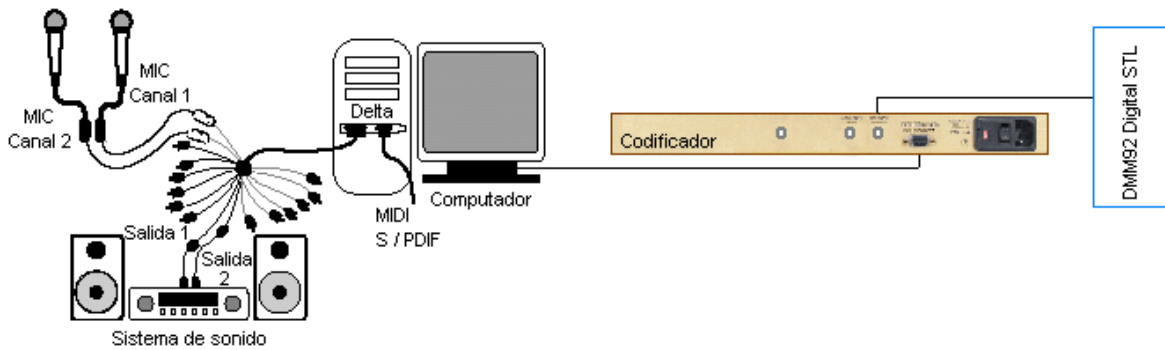


Figura 6-1. Equipos en el estudio.

### 6.3 ENLACE ESTUDIO TRANSMISOR

La frecuencia asignada al enlace estudio transmisor es de 302.9 MHz. Actualmente el procesamiento de audio se hace en el estudio, es decir, la configuración es como se muestra en la figura 6-2.

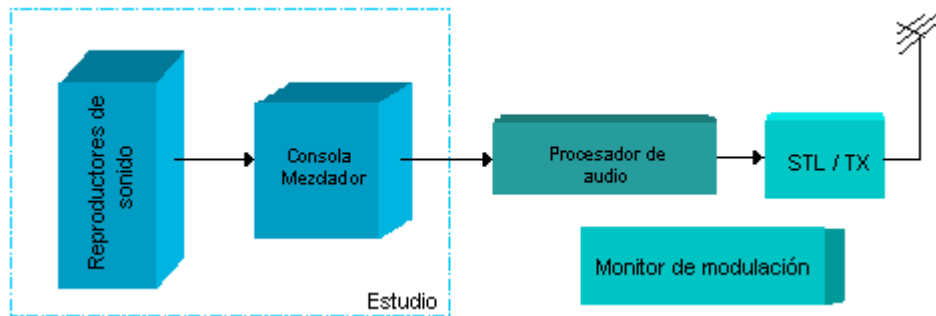


Figura 6-2. Diagrama de bloques básico convencional de los estudios<sup>27</sup>

Las señales provenientes de los reproductores de sonido son llevadas hasta la consola mezclador, para a través de ésta generar una sola señal de audio que debe ser posteriormente procesada antes de ser enviada hasta el sitio transmisor donde será radiada.

Como se especificó en el capítulo anterior, es conveniente, para una mayor economía, colocar los procesadores de audio en el sitio transmisor, para sólo utilizar un STL. La nueva configuración sería como se muestra en la figura 6-3.

<sup>27</sup> Si fuera una estación completamente digital, se podría mantener este esquema, es decir, el procesamiento de audio se podría hacer en el estudio.

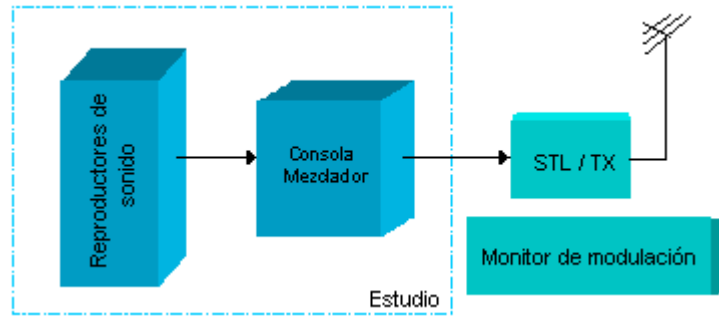


Figura 6-3. Diagrama básico para los estudios utilizando el modo híbrido IBOC

El esquema anterior se aplica, si lo único que se quiere es mejorar la calidad de audio, se debe resaltar que el procesamiento de audio ya no se realiza en los estudios. En este caso se quiere ofrecer los servicios básicos de datos, y el esquema es como se muestra en la figura 6-4.

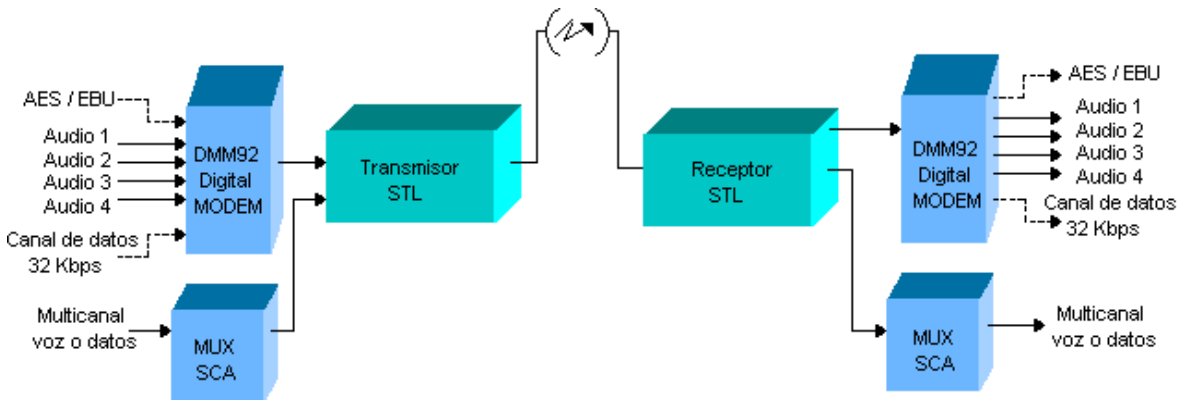


Figura 6-4. Diagrama en bloques STL para transmisión de datos

El enlace del estudio con el sitio transmisor se hará utilizando el siguiente equipo:

TFT modelo 7707 (enlace existente). Con los respectivos cables, conectores y antenas existentes.

DMM92 Digital STL Modem and Multiplexer. Mediante la utilización de este equipo es posible conservar el mismo STL, ya que este permite multiplexar el audio y los datos que se generan en el estudio y realizar el proceso de demultiplexación en el sitio transmisor.

#### 6.4 SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Una vez se ha llevado la información al sitio transmisor, se realizará el procesamiento de la señal para poder realizar una transmisión con mejor calidad.

Dado que es un sistema híbrido, se contará con los siguientes equipos:

Procesador ORBAN OPTIMOD FM Mode 8100 A. Se utilizará el procesador existente para el servicio convencional.

Procesador ORBAN OPTIMOD FM Mode 6200. Se utilizará para el servicio digital.

Excitador DEXSTAR™ FM IBOC.

Excitador FM ISCO.

Dado que la potencia de transmisión de la estación no es superior a 10 KW, se debe utilizar una combinación en bajo nivel. Considerando que la potencia de la señal IBOC es 20 dB menor que la potencia de la señal FM, se tiene lo siguiente:

$$P_{\text{IBOC}}(\text{dBW}) = P_{\text{txactual}}(\text{dBW}) - 20 \text{ dB} \quad (6.1)$$

$$P_{\text{txactual}}(\text{W}) = 5000 \text{ W} \quad (6.1a)$$

$$P_{\text{txactual}}(\text{dBW}) = 36.99 \text{ dBW} \quad (6.1b)$$

$$P_{\text{IBOC}}(\text{dBW}) = 36.99 \text{ dBW} - 20 \text{ dB} \quad (6.1c)$$

$$P_{\text{IBOC}}(\text{dBW}) = 16.99 \text{ dBW} \quad (6.1d)$$

$$P_{\text{IBOC}}(\text{W}) = 50 \text{ W} \quad (6.1e)$$

En la configuración en bajo nivel, con amplificación común no se generan pérdidas en el combinador, es por esto que la potencia requerida en el transmisor IBOC será:

$$P_{\text{TXIBOC}}(\text{W}) = P_{\text{txactual}}(\text{W}) + P_{\text{IBOC}}(\text{W}) \quad (6.2)$$

$$P_{\text{TXIBOC}}(\text{W}) = 5050 \text{ W} \quad (6.2a)$$

Para no sobrepasar el valor de la PRA autorizada a la estación, es necesario, reconsiderar la potencia que debe entregar la señal analógica, para que la suma de la potencia de la señal IBOC, más la potencia de la señal analógica se mantengan en el límite autorizado, se tiene lo siguiente:

$$P_{\text{txanalógico}}(\text{W}) = 4950 \text{ W} \quad (6.1f)$$

$$P_{\text{txanalógico}}(\text{dBW}) = 36.95 \text{ dBW} \quad (6.1g)$$

$$P_{\text{IBOC}}(\text{dBW}) = 36.95 \text{ dBW} - 20 \text{ dB} \quad (6.1h)$$

$$P_{\text{IBOC}}(\text{dBW}) = 16.95 \text{ dBW} \quad (6.1i)$$

$$P_{\text{IBOC}}(\text{W}) = 49.5 \text{ W} \quad (6.1j)$$

$$P_{\text{TXIBOC}}(\text{W}) = 4950 \text{ W} + 49.5 \text{ W} \quad (6.2b)$$

$$P_{\text{TXIBOC}}(\text{W}) = 4999.5 \text{ W} \cong 5000 \text{ W} \quad (6.2c)$$

Como se puede observar en la ecuación 6.2b, el valor de la PRA se mantiene en el límite establecido.

IBOC Filter-Injector. Este dispositivo se utilizará para combinar las señales analógica y digital a la entrada del transmisor. En la combinación en bajo nivel no se producen pérdidas.

Se utilizará el transmisor Harris ZH4D, éste es un transmisor de 5 KW que se debe adquirir, debido a que el transmisor con que cuenta actualmente la emisora de la Universidad del Cauca es de tubos y por tanto no es lineal.

Se utilizará la misma línea de transmisión y antena.

Se utilizará la torre y el sistema de protección, que se encuentran en el sitio transmisor elegido.

La configuración en el sitio transmisor será como se muestra en la figura 6-5.

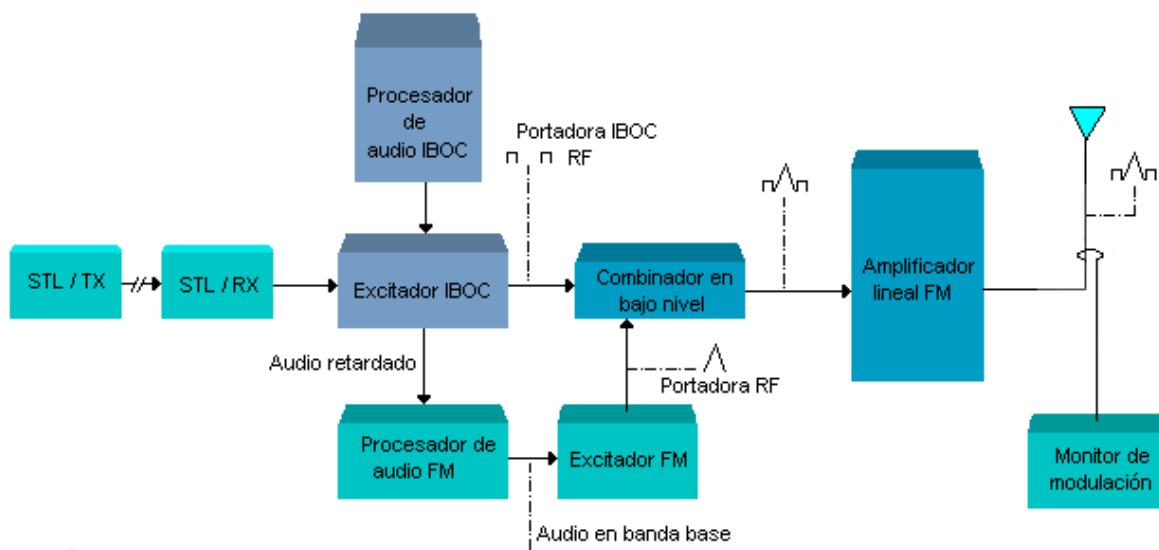


Figura 6-5. Equipos en el sitio transmisor / IBOC híbrido

## 6.5 UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN

- Estudios. Los estudios de la emisora de la Universidad del Cauca, se encuentran ubicados en el edificio de la Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Sector Tulcán.
- Sistema de Transmisión. La estación de radiodifusión principal se ubicará fuera del perímetro urbano, en el cerro de las Tres Cruces, cuyas coordenadas planas son:

$$X = 1'053.825$$

$$Y = 761.875$$

$$H = 1.800 \text{ m}$$

El sistema de transmisión alternativo se encuentra dentro del perímetro urbano del municipio de Popayán, en el Tablazo.

## 6.6 CÁLCULOS DE PROPAGACIÓN

### 6.6.1 Ubicación del sistema de transmisión

El sistema transmisor actualmente se encuentra fuera del perímetro urbano del municipio de Popayán, en el cerro de Munchique, cuyas coordenadas geográficas son:

N: 2°31'19"

W: 76°57'38"

Altura: 3.057 m.

Sus coordenadas planas son:

X = 1'019.000

Y = 768.000

De acuerdo con el patrón de radiación de la antena<sup>28</sup> la orientación de esta es de la siguiente manera:

Oriente (municipio de Popayán): 2 bahías.

Occidente (municipio de Guapi): 1 bahía.

Norte (municipio de Cajibío): 1 bahía.

Sur (municipio de Patía): 1 bahía.

Como se podrá comprobar, en el siguiente ítem, éste sitio no cumple con las especificaciones del ministerio por ello se recomienda como sitio de transmisión el cerro de las Tres Cruces, cuyas coordenadas planas son:

X = 1'053.825

Y = 761.875

H = 1.800 m

### 6.6.2 Cálculo de la altura sobre el nivel de mar para el centro de radiación de la antena (HSI)

Se debe cumplir la condición de que la altura sobre el nivel del mar del centro de radiación no debe sobrepasar el valor de la altura media sobre el nivel del mar asignada al municipio más la altura máxima  $h$  asignada en el pliego de condiciones.

Esto se ve reflejado en la siguiente ecuación:

$$H_{\text{máx}} = H_{\text{promedio}} + h \quad (6.3)$$

---

<sup>28</sup> El patrón de radiación se encuentra en el anexo B.

$H_{\text{promedio}}$ : altura media del municipio.

$h$ : valor asignado por el ministerio, se encuentra en el plan técnico para FM.

$$H_{\text{máx}} = 1.738 \text{ m} + 120 \text{ m} \quad (6.3a)$$

$$H_{\text{máx}} = 1.858 \text{ m} \quad (6.3b)$$

Para calcular el HSI para la antena se aplica la siguiente ecuación:

$$HSI = h_{\text{tx}} + h_{\text{torre}} - L_a/2 \quad (6.4)$$

$h_{\text{tx}}$ : altura del sitio transmisor

$h_{\text{torre}}$ : altura de la torre

A continuación se utilizarán los valores correspondientes al sitio donde está actualmente ubicado el sitio transmisor.

Entonces, se tiene:

$$HSI = 3.057\text{m} + 63 \text{ m}^{29} - 1,44 \text{ m} \quad (6.4a)$$

$$HSI = 3.118,56 \quad (6.4b)$$

Si se compara  $H_{\text{máx}}$  con HSI, se puede notar que este sitio transmisor no cumple con los requisitos establecidos por el plan técnico para FM, ya que HSI no es menor que  $H_{\text{máx}}$ , es por eso que se debe elegir un nuevo sitio transmisor.

El nuevo sitio transmisor se eligió conforme al plan técnico FM, después de una revisión del Plan de Ordenamiento Territorial del año 2002, se llegó a la conclusión de que un sitio que cumple con los requisitos es el cerro de las Tres Cruces.

Sus coordenadas planas son:

$$X = 1'053.825$$

$$Y = 761.875$$

$$H = 1.800 \text{ m}$$

Se tiene,

$$HSI = 1.800\text{m} + 10 \text{ m} - 1,44 \text{ m} \quad (6.4c)$$

$$HSI = 1.808,56 \text{ m}$$

Esta altura es inferior a  $H_{\text{máx}}$  de 1858 m, cumpliendo con el requisito exigido en el pliego.

---

<sup>29</sup> Altura correspondiente a la torre de Munchique.



### 6.6.2 Cálculo de la potencia radiada aparente

Para realizar el cálculo de la PRA se requieren los siguientes datos:

Tolerancia de potencia del transmisor	2%
VSWR de la antena	1.1
Ganancia de antena	1 dB (1,3 veces)*
Longitud total de la línea	50 m (10 m altura de la torre)
Atenuación de la línea en la frecuencia de trabajo	0,22 dB/100 pies (7,22 x10 <sup>-3</sup> dB/m)
Atenuación por conectores	0,22 dB

\*Se tomó como ganancia, la ganancia del lóbulo principal, que corresponde a un arreglo de dos bahías.

$\alpha_{tx}$  = atenuación en la línea de transmisión

$$\alpha_{tx} = \alpha_{línea} \times L_{total} \quad (6.5)$$

$$\alpha_{tx} = 7,22 \times 10^{-3} \text{ dB/m} \times 50 \text{ m} \quad (6.5a)$$

$$\alpha_{tx} = 0,36 \text{ dB} \quad (6.5b)$$

La PRA = 5KW (potencia autorizada)

$$PARA \text{ (veces)} = (P_i - P_r) \times G_{antena} \quad (6.6)$$

En donde,

$P_i$  = potencia incidente en la antena

$P_r$  = potencia reflejada en la antena

Donde, la potencia reflejada en la antena se puede calcular a través de:

$$VSWR = \frac{1 + (P_r / P_i)^{1/2}}{1 - (P_r / P_i)^{1/2}} \quad (6.7)$$

$$\text{llamando } K = (P_r / P_i)^{1/2} \quad (6.8)$$

se tiene,

$$VSWR = \frac{1 + K}{1 - K} \quad (6.9)$$

Despejando el valor de K,

$$K = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \quad (6.9a)$$

$$K = 0.1/2.1 \quad (6.9b)$$

Elevando al cuadrado el valor de K y realizando el cociente se obtiene:

$$K^2 = (0.1/2.1)^2 = 2.27 \times 10^{-3} \quad (6.9c)$$

entonces,

$$P_r = P_i \times 2,27 \times 10^{-3} \quad (6.8a)$$

Reemplazando el valor de  $P_r$  en 6.6 se tiene,

$$PRA = (P_i - (P_i \times 2.27 \times 10^{-3})) \times 1.3 = \quad (6.6a)$$

$$P_i = \frac{PRA}{(1 - 2.27 \times 10^{-3}) \times 1.3} \quad (6.6b)$$

Dado que  $PRA = 5KW$  entonces,

$$P_i = 3.854,9 \text{ W} \quad (6.6c)$$

$$P_i = 35,86 \text{ dBW} \quad (6.6d)$$

La potencia incidente  $P_i$  se puede obtener utilizando la siguiente relación:

$$P_i = P_n - \alpha_{tx} - \alpha_c \quad (6.10)$$

$$P_n = P_i + \alpha_{tx} + \alpha_c \quad (6.10a)$$

$$P_n (\text{dBW}) = 35,86 + 0,36 + 0,22 \quad (6.10b)$$

$$P_n = 36,44 \text{ dBW} \quad (6.10c)$$

$$P_n = 4.405,55 \text{ W} \quad (6.10d)$$

El anterior valor corresponde a la potencia nominal del transmisor, si se considera la tolerancia que asigna el fabricante que es del 2%, entonces la potencia nominal de transmisión estará entre el siguiente rango:

$$P_n - 2\% < P_n < P_n + 2\%$$

es decir,

$$4.317,44 < P_n < 4.493,66$$

Con base en estos valores se debe calcular la PRA y verificar que el resultado está dentro del rango de tolerancia del 10% del valor de la PRA asignada a la emisora, como se estipula en los pliegos:

$$4500W < PRA < 5500W$$

Tomando el valor máximo de la potencia nominal del transmisor se tiene:

$$P_n \text{ máx} = 4.493,66 \text{ vatios (36,5 dBw)}$$

$$P_i = P_n \text{ máx} - \alpha_c - \alpha_{tx} = 36,5 - 0,36 - 0,22$$

$$P_i \text{ (dBW)} = 35,92$$

$$P_i = 3908,4 \text{ W}$$

$$P_r = K^2 \cdot P_i = 2,27 \times 10^{-3} \times 3.908,4 \text{ W} = 8,87 \text{ vatios}$$

$$PRA = (P_i - P_r) G_a = (3.908,4 - 8,87) \times 1,3$$

$$PRA = 5.069,39 \text{ vatios}$$

Este valor está dentro del rango de variación del 10% de la PRA asignada a la estación.

$$P_n \text{ mín} = 4.317,44 \text{ W}$$

$$P_{n\text{mín}} = 36,35 \text{ dBw}$$

$$P_i = P_n \text{ mín} - \alpha_c - \alpha_{tx} = 36,35 - 0,36 - 0,22$$

$$P_i \text{ (dBW)} = 35,77 \text{ dBw}$$

$$P_i = 3.775,72 \text{ vatios}$$

$$P_r = K^2 \cdot P_i = 2,27 \times 10^{-3} \times 3.775,72 \text{ W} = 8,57 \text{ W}$$

$$PRA = (P_i - P_r) \times 1,3$$

$$PRA = (3.775,72 - 8,57) \times 1,3$$

$$PRA = 4.897,29 \text{ vatios.}$$

Este valor también está dentro del rango de tolerancia de  $\pm 10\%$  de la PRA asignada a la estación.

De esta manera queda demostrado que para una potencia nominal del transmisor de 4.405,55 vatios y considerando la tolerancia del mismo de  $\pm 2\%$ , los márgenes máximo y mínimos de la PRA están dentro de los límites establecidos en los pliegos.

### 6.6.3 Alcance del servicio

Para el cálculo del alcance del servicio se tienen en cuenta los siguientes factores:

- 66 dBu como el valor del campo en el límite del alcance
- PRA de la estación (5 Kw)
- Factor de corrección del lóbulo de radiación de la antena.
- La diferencia (h) entre la altura sobre el nivel del mar del centro de radiación del sistema (HSI) y la altura media sobre el nivel del mar del municipio de Popayán.
- La curva E(50,50).

Los datos que se tienen son los siguientes:

E = 66 dBu

PRA = 5 Kw ( 7 dBk )

Pérdidas por lóbulo de radiación = 0 dB

h = HSI - altura media municipio

h = 1.808,56- 1.738 m

h = 70,56 m

Corrección de campo para potencia de 5Kw = 7 dB

Con base en el valor de h (70.56m) y el valor del campo corregido (59 dBu), se halla en la curva (50.50) el alcance del servicio<sup>30</sup>.

Alcance del servicio: 16,274 Km

#### **6.6.4 Cálculos de nivel de señal**

- Punto extremo más alejado del área urbana desde el sitio de ubicación del sistema de transmisión.

Este punto de interés se resalta en el mapa correspondiente. También se ha trazado el radial correspondiente sobre el patrón de radiación de la antena.

Las siguientes son sus coordenadas planas:

X : 1'039.550

Y : 767.200

Tiene una distancia desde el punto de transmisión de 15.325 m.

En las curvas E(50,50) se ubica el punto correspondiente a la intersección de:

---

<sup>30</sup> Para una mayor exactitud a la hora de hallar los valores de intensidad de campo y alcance del servicio, se utilizó el software disponible en la página de la FCC, además en el anexo B se encuentran las gráficas correspondientes.

$d = 15.325 \text{ m}$  y  $h = 70,56 \text{ m}$ .

Se lee en la intersección el valor del campo  $E_0 = 59,942 \text{ dBu}$ , sumando a este valor la corrección para una PRA de 5 Kw (7 dBk), entonces  $E_0 = 66,942 \text{ dBu}$ .

Este valor es superior al límite establecido de 66 dBu, por lo que cumple con las especificaciones.

- En los extremos angulares del área urbana con respecto al punto de ubicación del sistema de transmisión.

Se ubicaron estos dos (2) puntos tangenciales en el mapa correspondiente, y se trazaron los radiales sobre el patrón de radiación de la antena, éstos aparecen referenciados con los radiales R1 y R2, que corresponden así: R1 radial al punto tangencial ubicado a la derecha del patrón de radiación de la antena y R2 es el radial al punto tangencial ubicado a la izquierda del patrón de radiación de la antena.

El Punto extremo angular derecho (R1), posee las siguientes coordenadas planas:

X : 1'051.450 mN

Y : 775.625 mE

Distancia al punto de ubicación del sistema de radiación es 14250m.

Con el valor de  $h = 70,56 \text{ m}$ , se lee en las curvas el valor del campo,

$E_1 = 61,173 \text{ dBu}$

Considerando la corrección de las curvas para una PRA de 5 Kw (7 dBk) y sin factor de corrección debida al patrón de radiación de la antena, se tiene:

$E = 61,173 + 7$

$E_1 = 68,173 \text{ dBu}$

Valor superior al límite establecido de 66 dBu para la zona de servicio.

El punto extremo angular izquierdo (R2), posee las siguientes coordenadas planas:

X : 1'046.425 mN

Y : 753.500 mE

Distancia medida al punto de ubicación del sistema de radiación es: 11.125 m.

Con el valor  $h = 70,56$  y  $d = 11.125 \text{ m}$ , se encuentra en la curvas E (50,50) el valor del campo.

$E_2 = 65.698 \text{ dBu}$

Sumando la corrección para una PRA de 5 Kw (7dBk) y sin factor de corrección por patrón de radiación se tiene:

$$E_2 = 65,698 + 7 \text{ dBu}$$

$$E_2 = 72,698 \text{ dBu}$$

También este valor es superior al límite establecido de 66 dBu.

- Cálculo de la Sprom

Según lo establecido en el pliego, el cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$S \text{ prom} = (E_0 + E_1 + E_2) / 3 = (66,942 + 68,173 + 72,698) / 3$$

$$S \text{ prom} = 69,271 \text{ dBu}$$

Como se puede notar con base en los cálculos hechos, la emisora de la Universidad del Cauca cumple satisfactoriamente con las condiciones establecidas en el plan técnico para FM.

A continuación se encuentra una tabla en la que se indican los costos de los equipos que se deben adquirir para realizar la transmisión utilizando la tecnología IBOC.

Tabla 6-1. Costos de los equipos del sistema de transmisión

<b>Equipos</b>	<b>Costo (US \$)</b>
DMM92 Digital STL MODEM	5.585,00
Procesador ORBAN OPTIMOD FM MODE 6200	5.950,00
HARDEXTARFM	32.000,00
IBOC Filter-Injector	1.500,00
HARZ12HDC	81.000,00
<b>Total</b>	<b>126.035,00</b>

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1 CONCLUSIONES**

- Dadas las condiciones técnicas de las actuales emisoras en FM y AM en Colombia, es claro que no se puede dar una aplicación inmediata y generalizada de tecnologías como la Eureka 147 o IBOC y, aunque es un hecho que tarde o temprano se hará, el primer paso es empezar con la digitalización de los equipos de los estudios, para facilitar la transición. A pesar de que IBOC es una tecnología enfocada a la parte de transmisión no se debe olvidar que se deben adquirir nuevos equipos en los estudios de acuerdo con los servicios de datos que se quiera emitir.
- La transición de los actuales sistemas analógicos a los sistemas digitales debe hacerse paulatinamente, empezando muy posiblemente con un sistema híbrido en aquellas emisoras que cumplan con los requisitos para ello, y finalmente llegando a un sistema completamente digital, esto sujeto en gran medida a la relación oferta/demanda de los receptores DAB.
- Cabe resaltar que la transición hacia un nuevo sistema de radiodifusión sonora digital, implicará complejos acuerdos entre radiodifusores públicos y privados, fabricantes de equipos, operadores de redes de telecomunicaciones y administraciones públicas de servicios afines.
- En el diseño de cualquier sistema de transmisión, es de vital importancia, a la hora de elegir los equipos, no sólo tener presente la tecnología que se está utilizando en el diseño sino también, las tecnologías emergentes que también están relacionadas, esto evitará la compra de equipos que serán muy pronto obsoletos debido a la imposibilidad de reusarlos cuando surjan nuevas tecnologías.
- IBOC, no debe ser vista como una simple tecnología que implica la compra de nuevos equipos o el reuso de otros, al igual que otras tecnologías de telecomunicaciones, el éxito de su aplicación se encuentra soportado en la variedad de servicios que pueden ser soportados, en este sentido, el verdadero trabajo no radicará sólo en la compra de equipos sino en los diferentes estudios de mercado que permitan determinar, cuáles son esos nuevos servicios que se podrán ofrecer y que permitirán mantener vigentes los sistemas de radiodifusión y ser altamente competitivos en el mercado inalámbrico.
- La suscripción a listas y foros de discusión relacionados con el DAB, facilitó la interacción con expertos en el tema y permitió ampliar el conocimiento o resolver dudas, especialmente en el caso del sistema Eureka que tiene foros muy bien organizados. Vale la pena resaltar que se presentaron muchas dificultades cuando se tenían inquietudes con respecto al sistema IBOC, por ser un estándar Estadounidense y relativamente nuevo, surgieron contratiempos a la hora de solicitar información, sin embargo fabricantes como TFT, BDCAST y Harris, respondieron de una forma rápida y amable a las solicitudes hechas.

## 7.2 RECOMENDACIONES

- Es un hecho innegable que los actuales sistemas de radiodifusión están evolucionando y a pesar de que Colombia se caracterice porque la mayoría de los desarrollos tecnológicos tienen aplicación mucho tiempo después de haber sido desarrollados, es necesario que las entidades directamente relacionadas con este tipo de sistemas, se preparen para afrontar los nuevos retos que las nuevas tecnologías de telecomunicaciones ofrecen, pero no es suficiente prepararse técnicamente, es necesario realizar estudios de mercado que permitan caracterizar a los usuarios potenciales y reales, de la “nueva forma de hacer radio”.
- La FIET durante mucho tiempo ha estado a la vanguardia de las telecomunicaciones, sin embargo, en materia de los sistemas de radiodifusión se puede notar el poco interés y trabajo realizado al respecto. Aunque cabe destacar que algunos de los últimos trabajos de grado realizados han estado directamente relacionados con las nuevas tecnologías de los sistemas de radiodifusión, no se puede negar que no ha habido un esfuerzo conjunto en torno a ellos, sino que se han considerado como pequeños proyectos aislados y no como un gran proyecto con una visión compartida, lo que imposibilita un mejor manejo de recursos, e implica una mayor inversión en tiempo y dinero. Valdría la pena realizar una revisión exhaustiva de las nuevas tecnologías en torno a los sistemas de radiodifusión, para que aquellos estudiantes y docentes interesados en ellas puedan realizar un trabajo conjunto que permita crear una sólida base de conocimiento al respecto y por qué no, también de aplicaciones relacionadas.
- La emisora de la Universidad del Cauca no cuenta con un soporte técnico apropiado, lo cual es sorprendente, ya que se tiene una tecnología y una ingeniería donde se están formando profesionales que tienen unos conocimientos adecuados, para realizar esta labor. Sería pertinente evaluar la posibilidad de vincular a los estudiante a esta actividad a través de prácticas en materias como Sistemas de Radiodifusión o el Laboratorio I de Sistemas de Telecomunicaciones.
- La emisora de la Universidad del Cauca en este momento tiene una deficiencia concreta y es que para que el transmisor alterno (ubicado en el Tablazo), entre en funcionamiento cuando el transmisor principal (ubicado actualmente en Munchique), presenta fallas, es necesario desplazarse hasta el sitio transmisor, con la consecuente salida del aire durante mucho tiempo de la emisora y por supuesto con el correspondiente gasto de tiempo y dinero. Una posible solución es un encendido Telemático, para el cual se cuenta con las herramientas HW desde hace tres años, pero a pesar de eso, actualmente ese encendido sigue siendo de forma manual. Igualmente, la emisora no puede guardar todos los programas que se han realizado, porque no existe presupuesto para ello, pero no se trata solamente de falta de presupuesto sino también que no existe un adecuado conocimiento de las nuevas tecnologías que permiten un mayor almacenamiento de información y de una forma más económica.
- La Universidad del Cauca cuenta con la ventaja de tener una emisora propia, sin embargo, ésta no se ha “aprovechado” lo suficiente debido a la poca participación en la realización de programas, por parte de la mayoría de las Facultades y programas de la Universidad, a pesar de que se cuente con el espacio para ello, esto se refleja en la no diversidad de contenidos de los programas de la emisora, aunque la Universidad del Cauca, se caracterice precisamente, por la diversidad de



pensamientos e intereses existentes, es hora de empezar a impactar a la sociedad también a través de éste medio de comunicación.

- Es necesario incentivar y fortalecer los grupos de investigación en torno a las tecnologías de telecomunicaciones, ya que éstos serán el soporte de los futuros trabajos de grado que se desarrollen, por cuanto dentro de éstos grupos se deben formar las bases comunes a las tecnologías, para facilitar su posterior desarrollo; por ejemplo dos áreas fundamentales durante el desarrollo de este trabajo fueron las nuevas técnicas de codificación y modulación, sobre las cuales se ha trabajado muy poco al interior de los grupos de investigación de la Facultad.

## ACRÓNIMOS

AD. Antena direccional

AM (Amplitude modulation). Modulación en amplitud.

AES/EBU (Audio Engineering Society and the European Broadcast Union). Unión europea de radiodifusión y sociedad de ingeniería de audio.

CIRT. Cámara nacional de la industria de radio y televisión.

COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

CU (Capacity Unit). Unidad de capacidad.

DAB (Digital Audio Broadcasting). Difusión de audio digital.

DD (Analog diversity delay control). Control de retardo de diversidad.

DRM (Digital Radio Mondiale). Radio digital mundial.

DSB (Digital Sound Broadcasting). Radiodifusión de sonido digital.

ETI (Interface Transport Ensemble). Interfaz de transporte del "DAB ensemble".

ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Instituto europeo de estándares para las Telecomunicaciones.

FCC (Federal Communications Commission). Comisión Federal de Comunicaciones.

FEC (Forward Error Correction). Corrección de errores sin reemisión.

FFT (Fast Fourier Transform). Transformada rápida de Fourier.

FM (Frequency Modulation). Modulación en frecuencia.

GPS (Global Positioning System). Sistema de posicionamiento global.

HPA (High Power Amplifier). Amplificador de alta potencia.

HTML (Hypertext Markup Language). Lenguaje de etiquetado hipertexto.

HVAC (Heating, Ventilating and Air conditioning). Calefacción, aire acondicionado y ventilación.

IBOC (In band on channel). En banda sobre el canal.

ISO (International Standards Organization). Organización internacional de estándares.

IDS (Iboc Data Service). Servicio de datos IBOC.

ISDB – T (Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting). Radiodifusión Digital Terrestre de Servicios Integrados.

ITU (International Telecommunications Union). Unión Internacional de las Telecomunicaciones.

KBS (Korea Broadcasting System). Sistema de Radiodifusión de Básicoa.

LDR (Lucent Digital Radio). Radio digital de Lucent.

MCI (Multiplex Configuration Information). Información de Configuración del Multiplex.

MF (Medium Frequency). Frecuencia media.

MIC (Ministry of Information and Communication). Ministerio de Información y de Comunicación.

MPA (Main Program audio). Programa de audio principal.

MPD (Main Program Data). Programa de datos principal.

MPEG (Moving Picture Expert Group). Grupo de expertos en imágenes en movimiento.

MUSICAM (Masking Pattern Adapted Universal Subband Integrated Coding and Multiplexing).

MUX (Multiplexer). Multiplexor.

NAB (National Association of Broadcasters ). Asociación nacional de radiodifusores.

ND. Antena omnidireccional

NRSC (National Radio Systems Committee). Comité nacional de sistemas de radio

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Multiplexación orthogonal por división en frecuencia.

OSI (Open Systems Interconnection). Interconexión de sistemas abiertos.

PAC (Perceptual Audio Coder). Codificador de audio perceptual.

PAD (Programm Associated Data). Datos asociados al programa.

PC (Personal Computer). Computador personal.

PCM (Pulse Coded Modulation). Modulación por impulsos codificados.

PIDS (Primary IBOC Data Service Logical Channel). Canal lógico primario del servicio de datos IBOC.

PM (Primary Main). Primario principal.

PRA (Potencia Radiada Aparente).

PX (Primary Extended). Primario extendido.

QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Modulación de amplitud en cuadratura.

QPSK (Quaternary Phase Shift Keying). Modulación por desplazamiento de fase cuaternaria.

RBDS (Radio Broadcast Data System). Sistema de difusión de datos por radio.

RDS (Radio Data System). Sistema de Datos por Radio.

RF (Radio Frequency). Radiofrecuencia.

RTHK. Radio Televisión de Hong Kong

SAP (Service Access Point). Punto de acceso al servicio.

SCA (Subsidiary Communications Authorization). Autorización de comunicaciones subsidiarias.

SCCH (System Control Channel). Canal de control del sistema.

SCU (Service Control Unit). Unidad de control del sistema.

S-DAB (Satellite DAB). DAB satelital.

SDU (Service Data Unit). Unidad de datos de servicio.

SI (Service Information). Información de Servicio.

SIDS (Secondary IBOC Data Service Logical Channel). Canal lógico secundario de Servicio de datos IBOC.

SM (Secondary Main). Principal Secundario.

STL (Studio Transmitter Link). Enlace estudio / transmisor.

T-DAB (Terrestrial DAB). DAB terrestre.

TDF (TéléDiffusion de France). Teledifusión de Francia.

TII (Transmitter Identification Information). Información de Identificación del transmisor.

TPO (Transmitter Power Output). Potencia de salida del transmisor.

USADR (USA Digital Radio). Radio digital de USA.

VHF (Very High Frequency). Muy alta frecuencia.

VSWR (Voltage Standing Wave Ratio). Relación de onda estacionaria de voltaje.

WARC (World Administrative Radio Conference). Conferencia mundial administrativa de radiocomunicaciones.

## GLOSARIO

AM: siglas utilizadas para referirse a la modulación en amplitud o a la banda comprendida en el rango 535 a 1705 KHz.

ÁREA DE SERVICIO: área del terreno que cubre una estación con una intensidad de campo suficiente (66 dBu), para proporcionar un servicio de Radiodifusión Sonora de buena calidad.

Banda III: forma parte de la banda VHF, conformada por los canales cinco a diez en el rango de frecuencias (174 GHz – 220 GHz) y los canales once y doce en el rango de frecuencias (225 GHz – 233 GHz)

CÁMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE RADIO Y TELEVISIÓN: tiene por objeto: Representar los intereses generales de la industria y de las empresas que la constituyen. Estudia las leyes, reglamentos, disposiciones y proyectos, emanadas o no de la autoridad, que se relacionan con las actividades de radiodifusión en sus aspectos técnico, autoral, programático, administrativo y fiscal.

CONSOLA: la tabla o mesa de mezclas es el elemento central imprescindible para llevar a cabo una realización y emisión radiofónica. A través de este aparato pasan todas las fuentes de sonido que se generan en los estudios de radio provenientes de micrófonos, giradiscos, CD's, etcétera. La tabla regula la emisión y grabación del sonido, añade efectos, mezcla la música con la música, o la música con la palabra, o la voz de un locutor con la de otro locutor.

ESTACIÓN CLASE C: aquella destinada a cubrir una ciudad o población y las áreas rurales contiguas a la misma, y que está protegida, por lo tanto, contra interferencias objetables.

FM: siglas utilizadas para referirse a la modulación en frecuencia o a la banda comprendida en el rango 88 a 108 MHz.

COMBINADOR: dispositivo utilizado para combinar las señales analógica y digital, para utilizar un solo transmisor en la combinación en bajo nivel.

DAB ENSEMBLE: nombre dado a la información empaquetada, como resultado de la Multiplexación de 6 programas de estaciones diferentes, cuando se utiliza el estándar Eureka 147.

DIVERSIDAD DE TIEMPO: técnica utilizada con el propósito de realizar una transmisión más robusta, consiste en enviar una señal de backup, luego de que la señal principal es transmitida, para conmutar a la señal de backup en caso de que la señal principal presente fallas.

**ENTRELAZADO EN FRECUENCIA:** consiste en separar los datos consecutivos en diferentes frecuencias, con este procedimiento se consigue robustez ante los desvanecimientos selectivos que afectan ciertas frecuencias.

**ENTRELAZADO EN TIEMPO:** consiste en separar en el tiempo los bits de un código de forma que no se transmitan consecutivamente, si la separación entre los bits es suficiente para poder considerar que las condiciones de la propagación tengan gran posibilidad de haber variado se consigue que las fallas que afectan a cada bit del código sean independientes.

**EUREKA 147:** estándar europeo para radiodifusión digital.

**EXCITADOR:** equipo utilizado para realizar la modulación. Un excitador IBOC, se caracteriza por retardar la señal de audio que debe ser entregada a un excitador FM convencional.

**FEC:** sistema de corrección de errores que se caracteriza por actuar directamente sobre el flujo útil. FEC  $\frac{1}{2}$  significa, un bit de información más un bit de redundancia.

**HD RADIO:** marca que identifica la tecnología IBOC, este nombre fue dado por la empresa iBiquity.

**IBIQUITY:** es el resultado de la unión de Lucent Digital Radio y Usa Digital Radio, dos proponentes en torno a la radio digital, actualmente es la organización encargada de crear el estándar final para la tecnología IBOC.

**LDR:** subcomité dentro de Lucent Technologies, dedicado a realizar estudios en torno a la radiodifusión digital.

**MODULACIÓN EN AMPLITUD:** utiliza variaciones de la amplitud de la onda portadora, según la señal modulante.

**MODULACIÓN EN FRECUENCIA:** resulta cuando la frecuencia de la portadora varía directamente de acuerdo con la señal modulante.

**NAB:** es una asociación que representa el interés de los radiodifusores de radio y televisión.

**NRSC:** es patrocinado por el NAB y la CEA. Su propósito es estudiar y hacer recomendaciones para estándares técnicos que relacionen la difusión y la transmisión de señales de radio. La NRSC es un vehículo por el cual los radiodifusores y fabricantes de receptores pueden trabajar juntos hacia soluciones a problemas comunes en los sistemas de radiodifusión.

**OFDM:** es una tecnología también llamada multitono discreta (DMT) o modulación Multiportadora (MCM) en la cual numerosas señales de diferentes frecuencias, llamadas portadoras se combinan para formar una sola señal para transmisión. Previo a la combinación cada portadora se alterna en fase o modula con el propósito de representar los bits de datos, esto permite que muchos bits de datos se puedan transmitir en una pequeña cantidad de tiempo.

**POTENCIA RADIADA APARENTE:** el producto de la potencia suministrada a la entrada de la antena por su ganancia con relación a un dipolo de media onda en una dirección dada. Este producto debe ser expresado en kW y en dB con relación a 1kW (dBk).

**PAC:** es una tecnología de compresión que habilitará a los radiodifusores para enviar contenido de audio y datos vía señales digitales sobre las bandas existentes de AM y FM, esta tecnología utiliza procesamiento de señal avanzado y un modelo físico acústico para interpretar la audición humana y eliminar la redundancia y señales irrelevantes en el audio. PAC provee compresión para aplicaciones tales como radiodifusión y la transmisión de música, con calidad de audio significativamente mejorada.

**PERCEPTUAL:** hace referencia al tipo de procesamiento que se realiza del audio, con base en la manera que el audio es procesado por el cerebro y oído humano, se reduce la cantidad de datos sin desmejorar la calidad de audio que llegará al oyente.

**POTENCIA RADIADA APARENTE:** es el producto de la potencia suministrada a la entrada de la antena por su ganancia.

**PRODUCTOS DE INTERMODULACIÓN:** son las señales no deseadas que aparecen a la salida de los dispositivos no lineales, como resultado de la interacción entre dos o más señales en el interior de éste.

**RDS:** estándar europeo para la transmisión de datos.

**RBDS:** el mecanismo mediante el cual paquetes de datos se envían hacia un receptor a través de la sub-portadora de frecuencia modulada, permite recibir a bordo del vehículo y en ruta información actualizada sobre el estado del tráfico, es un estándar estadounidense.

**SOFTWARE DE AUTOMATIZACIÓN:** programas informáticos diseñados por y para las emisoras de radio permiten grabar y manipular el sonido, reproducir de forma automática sonido previamente grabado, controlar la emisión en directo, pautar y seleccionar una emisión musical, gestionar la discoteca de una radio e incluso realizar la facturación, el control y la gestión publicitaria.

**TRANSMISIÓN MONOFÓNICA:** sistema que efectúa la transmisión de un solo canal de audio frecuencia a través de un canal de radiodifusión.

**TRANSMISIÓN ESTEREOFONICA:** transmisión de dos canales de audiofrecuencia independientes, uno como canal principal y otro como subcanal estereofónico, por medio de un canal único de radiodifusión.

**TRANSMISIÓN MULTIPLEX:** transmisión simultánea de dos o más señales por un solo canal.

**VSWR:** es una medida de la adaptación entre la línea de transmisión y su carga. Entre más alto el valor del VSWR, mayor desadaptación. La unidad indica una adaptación de impedancia perfecta.



## BIBLIOGRAFÍA

### Referencias bibliográficas

<http://www.bdcast.com>  
<http://www.ubiquity.com>  
<http://www.lucent.com>  
<https://www.nab.org/SciTech/Appendixham.pdf>  
<http://www.w9gr.com/ge-fm.pdf>  
<http://www.fcc.gov/mb/audio/bickel/curves.html>  
<http://www.impulseradio.com/>  
<http://beradio.com/>  
<http://www.rwonline.com/>  
<http://www.worldspace.com/>

### Organizaciones

<http://www.nab.org/>  
<http://www.fcc.gov/>  
<http://www.nrsc.org/>  
<http://www.etsi.org/>  
<http://www.aes.org/>  
<http://www.mincomunicaciones.gov.co>  
<http://www.cirt.com>  
<http://www.itu.int/ITU-R/>

### Fabricantes.

<http://www.inovon.com/>  
<http://www.midiman.net/products/m-audio/1010lt.php>  
<http://www.drs2006.com/>  
<http://www.harris.com>  
<http://www.nautel.com/>  
<http://www.shively.com/>  
<http://www.tftinc.com>

<http://www.midiman.net/products/>

### **Material Impreso**

CARLSON, Bruce. Sistemas de Comunicación. España: McGraw-Hill, 1992. 507 p .

FERIZ, RODRÍGUEZ. Diseño de una emisora AM para una entidad sin ánimo de lucro. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Popayán: Universidad del Cauca, 2002. 138p.

GUERRERO. Luis Alfredo. Elaboración de un manual para la aplicación de las normas técnicas que rigen la radio y la televisión en Colombia. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Popayán: Universidad del Cauca, 1998. 157p.

ROMO, Harold. Fundamentos de Radiopropagación para onda terrestre y línea de vista. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Popayán: Universidad del Cauca, 2000. 67p.

WAYNE, Tomasi. Sistemas de Comunicación Electrónicos. Méjico: Pearson Educación, 1996. 843 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Tesis y otros trabajos de grado. Bogotá: ICONTEC, 1996. 132p. NTC.1486

PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL. Concejo municipal de Popayán. Secretaría General. 144p.