

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Estudio comparativo de los aspectos técnicos de los estándares de radiodifusión digital terrestre IBOC (In-band-on-channel), DAB (Digital Audio Broadcasting), ISDB-TSB (Japan's Digital Radio Broadcasting) y DRM (Digital Radio Mondiale) a considerarse, para su posible implementación en el país.

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**CHRISTIAN RAMIRO CADENA RAMÍREZ
DARÍO GABRIEL TACURI GUEVARA**

DIRECTOR: ING. ERWIN BARRIGA

Quito, Septiembre 2009

DECLARACIÓN

Nosotros Christian Ramiro Cadena Ramírez, Darío Gabriel Tacuri Guevara, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Christian Ramiro Cadena Ramírez

Darío Gabriel Tacuri Guevara

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Christian Ramiro Cadena Ramírez, Darío Gabriel Tacuri Guevara, bajo mi supervisión.

Ing. Erwin Barriga
DIRECTOR DE PROYECTO

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis hermanos María Belén, Nancy Daniela, Santiago Renán, y mis padres Nancy Lucía Ramírez Hidalgo y Cristóbal Ramiro Cadena Moscoso, por el apoyo y sabiduría que me han proporcionado durante toda mi vida estudiantil.

Christian Ramiro Cadena Ramírez

A mi madre por creer en la constancia.

Darío Gabriel Tacuri Guevara

CONTENIDO

CONTENIDO	I
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XV
RESUMEN	XVI
PRESENTACIÓN	XVIII
CAPÍTULO 1	1
PRINCIPIOS DE LA RADIODIFUSION DIGITAL	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.1.1 ¿QUE ES LA RADIO DIGITAL?	2
1.1.2. ¿COMO FUNCIONA UNA RADIO DIGITAL?	4
1.2. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA RADIO DIGITAL	7
1.2.1. SERVICIOS DE AUDIO	7
1.2.2. SERVICIOS DE DATOS	7
1.2.2.1. Información del programa de audio	8
1.2.2.2. Servicios suplementarios	8
1.2.2.3. Acceso condicional	8
1.2.3 CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO	9
1.2.4 DISPONIBILIDAD DEL SERVICIO	9
1.2.4.1 Diversidad Temporal.....	10
1.2.4.2 Diversidad de Frecuencia	10
1.2.4.3 Diversidad Espacial	10
1.2.5. DISTRIBUCIÓN DEL SERVICIO	10
1.2.6 EFICACIA ESPECTRAL	11
1.2.7 CONFIGURACIONES DEL SERVICIO	12
1.2.8 INTERFACES	12
1.2.9 MEJOR RECEPCIÓN DE LA INFORMACIÓN	13
1.3 CALIDAD DE SONIDO	13
1.3.1 NIVELES DE CALIDAD DE SONIDO	14

1.3.2. SEÑALES DE CONTROL DE SONIDO	14
1.4 GENERALIDADES DE LA ESTACIÓN DE RADIODIFUSIÓN CON TECNOLOGÍA DIGITAL	15
1.4.1 SISTEMA BÁSICO DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL	15
1.4.2 COMPONENTES DE LA ESTACIÓN DE RADIO DIGITAL	16
1.4.2.1 Equipos de baja frecuencia	16
1.4.2.2 Equipos de alta frecuencia	19
1.5 ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE SONIDO DE ALTA CALIDAD	19
1.5.1 PRINCIPIOS DE SONIDO DIGITAL	20
1.5.1.1 Procedimientos para la digitalización de la señal de audio analógica	20
1.5.1.1.1 Procedimientos específicos o síntesis Digital.....	21
1.5.1.1.2 Transformando una señal acústica o analógica en una señal digital, el muestreo.	21
1.5.1.1.3 Muestreo con frecuencias inferiores	22
1.5.1.2 Digitalización de audio basado en la modulación de pulsos codificados PCM.....	24
1.5.2 COMPRESIÓN DE AUDIO PARA TRANSMISIÓN DIGITAL	26
1.5.3 MULTIPLEXACIÓN	27
1.5.4 MODULACION	27
1.5.4.1 Propagación multitrayecto	28
1.5.4.2 COFDM	29
1.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA RADIO DIGITAL	35
CAPÍTULO 2	38
ESTÁNDARES DE TRANSMISIÓN TERRENA PARA RADIO DIGITAL	38
2.1. INTRODUCCIÓN	38
2.2 ESTANDAR DAB (DIGITAL AUDIO BROADCASTING)	39
2.2.1 ESTRUCTURA DEL SISTEMA	39
2.2.2 SEÑALES DE AUDIO Y DATOS ASOCIADOS AL PROGRAMA (PAD) 40	
2.2.2.1 Codificador de Fuente	40
2.2.2.1.1 Digitalizador	41
2.2.2.1.2 Codificación.....	41
2.2.2.2 Trama de Audio DAB	43
2.2.2.2.1 Datos asociados al Programa (PAD)	43

2.2.3 SERVICIO DE DATOS GENERALES	43
2.2.3.1 Modo Paquete	43
2.2.3.2 Modo Ráfaga	44
2.2.4 DATOS PARA SELECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	44
2.2.4.1 Información de control de Multiplex (MCI)	44
2.2.4.2 Información de Servicio (SI)	44
2.2.5 SERVICIO DE DATOS FIC	44
2.2.6 PROCESADO DE LA SEÑAL	45
2.2.6.1 Dispersión de Energía	45
2.2.6.2 Codificación Convolutiva	45
2.2.6.3 Entrelazado de Tiempo	45
2.2.6.4 Multiplexación (MUX)	45
2.2.6.5 Ensamblador (Bloque de Información Rápida)	46
2.2.7 MULTIPLEXOR (TRAMA DE TRANSMISIÓN)	46
2.2.8 MODULACIÓN EN EL SISTEMA DAB	46
2.2.8.1 Generación de símbolos Q-PSK	46
2.2.8.2 Entrelazado en frecuencia	47
2.2.8.3 Modulación QPSK	47
2.2.9 TRAMA DAB	50
2.2.9.1 Sincronización	50
2.2.9.2 Información Rápida de Canal (FIC)	51
2.2.9.3 Canal de Servicio Principal (MSC)	51
2.2.10 NÚMERO DE PROGRAMAS TRANSMITIDOS	51
2.2.11 MODOS DE TRANSMISIÓN EN EL SISTEMA DAB	52
2.2.11.1 Modo I	54
2.2.11.2 Modo II	54
2.2.11.3 Modo III	54
2.2.11.4 Modo IV	54
2.2.12 ESPECTRO DEL SISTEMA DAB	54
2.2.13 APLICACIONES DEL SISTEMA DAB	55
2.3 ESTANDAR IBOC (In-Band On-Channel)	56
2.3.1 SUBSISTEMA DE ENTRADA DE AUDIO Y DATOS	58
2.3.1.1 Códec (Codificador y compresor de la fuente de audio)	58
2.3.1.1.2 Algoritmo de codificación PAC de Lucent Technologies	60
2.3.2 SUBSISTEMA DE TRANSPORTE Y SERVICIO DE MULTIPLEX	60

2.3.2.1 Servicio del Programa Principal (MPS).....	60
2.3.2.2 Servicio de Programa Suplementarios (SPS).....	60
2.3.2.3 Servicio de Identificación de la Estación (SIS).....	61
2.3.2.4 Servicio de Datos Avanzados (ADS)	61
2.3.3 SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN.....	61
2.3.3.1 Sistema IBOC AM.....	61
2.3.3.1.1 Canales Lógicos.....	62
2.3.3.1.2 Mezclado.....	63
2.3.3.1.3 Codificación de Canal	63
2.3.3.1.4 Entrelazado	64
2.3.3.1.6 Mapeo de Subportadora.....	64
2.3.3.1.7 Generación de la señal OFDM.....	64
2.3.3.1.8 Transmisión.....	64
2.3.3.1.9 Modos de funcionamiento	65
a) Modo híbrido (Simulcast)	65
b) Modo Totalmente Digital	68
2.3.3.2 IBOC FM.....	70
2.3.3.2.1 Canales Lógicos.....	71
2.3.3.2.2 Mezclado.....	73
2.3.3.2.3 Codificación de Canal	73
2.3.3.2.4 Entrelazado	73
2.3.3.2.5 Mapeo de Subportadora	73
2.3.3.2.6 Generación de la señal OFDM.....	73
2.3.3.2.7 Transmisión.....	73
2.3.3.2.8 Modos de Funcionamiento	74
a) Forma de onda híbrida	75
b) Forma de onda híbrida ampliada.....	75
c) Forma de onda completamente digital	76
2.4 ESTANDAR DRM (Digital Radio Mondiale).....	78
2.4.1 BREVE DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DRM.....	80
2.4.1.1 Codificación de la fuente audio.....	81
2.4.1.1.1 Codificación MPEG-4 AAC.....	82
2.4.1.1.2 Codificación de MPEG-4 CELP16.....	82
2.4.1.1.3 Codificación de MPEG-4 HVXC17	82
2.4.1.2. Multiplexación DRM.....	82
2.4.1.2.1 Canal de Servicio Principal (MSC)	83
2.4.1.2.2 Canal de Acceso Rápido (FAC)	83
2.4.1.2.3 Canal de Descripción del Servicio (SDC).....	84
2.4.1.3. Codificación de canal y modulación de subportadora.....	84
2.4.1.4. Parámetros de transmisión	85
2.4.1.5. La trama	87
2.4.1.6 Modulación	88

2.4.1.7 Medios de propagación	89
2.4.1.7.1 Onda de superficie	89
2.4.1.7.2 Onda ionosférica	89
2.4.1.7.3 NVI (Near Vertical Incidence)	89
2.5 JAPAN`S DIGITAL AUDIO BROADCASTING (ISDB-TSB)	90
2.5.1 CODIFICACIÓN DE FUENTE	91
2.5.2 MULTIPLEXADO DE AUDIO	91
2.5.3 JERARQUIZACIÓN	92
2.5.3.1 Transmisión Jerárquica	93
2.5.3.2 Recepción Parcial	93
2.5.4 CODIFICACIÓN DE CANAL	94
2.5.5 MODULACIÓN.....	95
2.5.5.1 Transmisión COFDM segmentada	95
2.5.6 PARAMETROS DEL SISTEMA ISDB-TSB	96
2.5.7 MODOS DE TRANSMISIÓN.....	97
CAPÍTULO 3	99
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESTANDARES DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL	99
3.1. ASPECTOS TÉCNICOS A TENER EN CUENTA PARA LA EVALUACIÓN DE LOS DISTINTOS SISTEMAS.	99
3.1.1. CALIDAD DE AUDIO NO DEGRADADA POR EL CÓDEC	99
3.1.2. FIABILIDAD DEL CIRCUITO DE TRANSMISIÓN.....	99
3.1.3. ZONA DE COBERTURA Y DEGRADACIÓN GRADUAL	99
3.1.4. COMPATIBILIDAD CON LOS TRANSMISORES NUEVOS Y EXISTENTES	100
3.1.5. CONSIDERACIONES SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE CANALES ...	100
3.1.6. FUNCIONAMIENTO DE LA RED A UNA SOLA FRECUENCIA.....	100
3.1.7. COSTO Y COMPLEJIDAD DEL RECEPTOR	101
3.1.8. INTERFERENCIA	101
3.1.9. SINTONÍA RÁPIDA Y ADQUISICIÓN DE CANAL.....	101
3.1.10. COMPATIBILIDAD CON LOS FORMATOS ANALÓGICOS EXISTENTES	101

3.1.11. UTILIZACIÓN EFICAZ DEL ESPECTRO	102
3.1.12. NORMA ÚNICA	102
3.1.13. COMPARACIÓN CON LOS ACTUALES SERVICIOS DE MODULACIÓN ANALÓGICA	103
3.1.14. RADIODIFUSIÓN DE DATOS	103
3.1.15. MODULACIÓN.....	103
3.2. COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RADIODIFUSION DIGITAL TERRESTRE	103
3.2.1. DAB (Digital Audio Broadcasting)	103
3.2.1.1. Tecnología	103
3.2.1.2 Transición	104
3.2.1.3. Costo para las emisoras	104
3.2.1.4. Receptores	104
3.2.1.5. El Sistema DAB en el mundo.....	105
3.2.2. DRM (Digital Radio Mondiale)	105
3.2.2.1. Tecnología	105
3.2.2.2. Transición	106
3.2.2.3. Costo para las emisoras	106
3.2.2.4. Receptores	106
3.2.2.5. El sistema DRM en el mundo	106
3.2.3. HD Radio	107
3.2.3.1. Tecnología	107
3.2.3.2. Transición	107
3.2.3.3. Costo para las emisoras	108
3.2.3.4. Receptores	108
3.2.3.5. HD Radio en el Mundo	108
3.2.4. ISDB-TSB	109
3.2.4.1. Tecnología	109
3.2.4.2 Transición	109
3.2.4.3 Receptores	110
3.2.4.4 ISDB-TSB Radio en el Mundo	111
3.3 COMPARACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL.	111
3.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA UNO DE LOS ESTANDARES...	113
3.5.1 DAB	113
3.5.1.1 Ventajas.....	113
3.5.1.2 Desventajas	114

3.5.2. IBOC	115
3.5.2.1 Ventajas.....	115
3.5.2.2 Desventajas	116
3.5.3. DRM	117
3.5.3.1 Ventajas.....	117
3.5.3.2 Desventajas	118
3.5.4. ISDB-TSB	119
3.5.4.1 Ventajas.....	119
3.5.4.2 Desventajas	120
3.6. COSTOS DE CONVERSIÓN.....	120
3.6.1. ANALISIS DE FACTIBILIDAD.....	120
3.6.1.1 Costos	120
3.6.1.1.1 Etapa de Producción.....	121
3.6.1.1.2 Etapa de control	121
3.6.1.1.3 Etapa de Transmisión	122
CAPÍTULO 4	125
ANÁLISIS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN	125
4.1 INTRODUCCIÓN A LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN TERRESTRE.....	125
4.1.1 REDES MULTIFRECUENCIA	125
4.1.2 REDES DE FRECUENCIA ÚNICA	126
4.1.2.1 Tipos de redes de frecuencia única	128
4.1.2.1.1 SFN nacional.....	128
4.1.2.1.2 SFN regional	128
4.1.2.1.3 Red MFN con redes SFN.....	128
4.1.2.1.4 Gap Fillers SFN.....	129
4.1.2.2 Interferencia Producida por la red de frecuencia única.....	129
4.1.2.3 Optimización en las redes de Frecuencia Única.....	130
4.1.2.4 Sincronización en las redes de frecuencia única.....	130
4.1.2.4.1 Mecanismos de Sincronización.....	131
4.1.2.5 Ganancia de la red	132
4.2. ESTRUCTURA Y ELEMENTOS DE UNA RED	132
4.2.1. RED DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL.....	132
4.2.2. TRANSMISIÓN DISTRIBUIDA	134
4.2.2.1 Gap-fillers	136
4.2.2.2 Repetidores co-canal.....	137

4.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES EQUIPOS TERMINALES DE USUARIO.	137
4.3.1. SERVICIOS AVANZADOS	138
4.3.1.1 Servicios avanzados de aplicación	138
4.3.1.2 Información de texto	140
4.3.1.3 MOT	140
4.3.2 ÁREAS DE APLICACIÓN DEL SISTEMA.	141
4.3.3 RECEPTORES DE RADIO DIGITAL	142
4.4. SERVICIOS DE VALOR AGREGADO QUE SE TENDRÍA CON LA RADIO DIGITAL TERRESTRE.	145
4.4.1. SERVICIOS INTERACTIVOS, MULTIMEDIA Y CANAL DE RETORNO	145
4.4.2. API	147
4.4.3 EPG	147
4.4.4. DESCARGA DE SOFTWARE	148
4.4.5. IMPLEMENTACIÓN DE MECANISMOS DE PAGO	148
4.4.6 CA (Seguridad)	149
4.4.6.1 Encriptación/Desencriptación	149
4.4.6.2 Mecanismos de Transmisión	149
CAPÍTULO 5	150
PROCESO DE TRANSICIÓN DE LA RADIODIFUSIÓN ANALÓGICA A DIGITAL EN EL PAÍS.	150
5.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA RADIODIFUSIÓN DIGITAL EN AMÉRICA Y EN EL PAÍS.	150
5.1.1. INTRODUCCIÓN	150
5.1.2. CANADÁ	152
5.1.2.1. Aspectos políticos	152
5.1.3. ESTADOS UNIDOS	154
5.1.3.1. Aspectos Políticos	155
5.1.4. MÉXICO	156
5.1.4.1. Aspectos Políticos	156
5.1.5. BRASIL	157

5.1.5.1. Aspectos políticos.....	158
a) Sistema IBOC (In-Band On-Channel)	158
b) Sistema DRM (Digital Radio Mondiale)	158
5.1.6. VENEZUELA	159
5.1.6.1. Aspectos políticos.....	159
5.1.7. CHILE	160
5.1.7.1. Aspectos políticos.....	161
5.1.8. ARGENTINA.....	162
5.1.8.1. Aspectos políticos.....	162
5.1.9. ECUADOR	163
5.1.9.1. Aspectos políticos.....	164
5.2. MODELO DE TRANSICIÓN.....	165
5.3 OPORTUNIDADES Y RETOS DE LA RADIO DIGITAL	169
5.4. OBJETIVOS DE LA RADIO DIGITAL.....	170
5.5. ASPECTOS COMERCIALES.....	171
5.5.1 SIMULCASTING	172
5.5.2 DE ANALÓGICO A DIGITAL	172
5.5.3 DEL FLUJO “A LA CARTA”	173
5.5.4 DE LA RADIO DE MASAS A LA DIFUSIÓN PERSONALIZADA.....	173
5.5.5 DE UNA PLATAFORMA A MULTIPLATAFORMA.....	173
5.5.6 DE UN ESTÁNDAR A VARIOS ESTÁNDARES	173
5.5.7 DE LA ESCUCHA PASIVA A LA ELECCIÓN ACTIVA	174
5.5.8. COSTO DE RECEPTORES.....	174
5.5.9. MERCADO MUNDIAL DE LA RADIO DIGITAL.....	176
5.5.9.1. Países que usan DAB.....	176
5.5.9.2. Países que usan IBOC	177
5.5.9.3. Países que usan DRM.....	178
5.5.9.4. Países que usan ISDB-Tsb.....	179
5.5.10. RETOS DE MERCADO DE LAS RADIODIFUSORAS INVOLUCRADAS EN LA CADENA DE VALOR DE LA RADIODIFUSIÓN DIGITAL.....	180
5.5.11. MODELO DE NEGOCIO.....	181
5.5.11.1. IBOC (In Band On-Chanel).....	182
5.5.11.2. DAB (Digital Audio Broadcasting).....	183

5.5.11.3. DRM (Digital Radio Mondiale)	183
5.5.11.4. ISDB-T	184
5.5.12. CAMBIOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONSUMIDOR	184
CAPÍTULO 6	186
ASPECTOS DE REGULACIÓN DE LA RADIODIFUSIÓN EN EL PAÍS	186
6.1 INTRODUCCIÓN	186
6.2 LOS ORGANISMOS DE CONTROL	186
6.2.1 CONATEL	186
6.2.2 SENATEL	187
6.2.3 SUPERTEL	187
6.2.4 CONARTEL	187
6.3 EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA RADIODIFUSIÓN.....	187
6.3.1 AM EN ONDA MEDIA.....	188
6.3.2 AM EN ONDA CORTA	188
6.3.3 FM	188
6.3.4 TV.....	188
6.3.5 FRECUENCIAS AUXILIARES DE RADIODIFUSIÓN Y TELEVISIÓN... ..	188
6.4 PROPUESTA GENERAL PARA RADIODIFUSIÓN DIGITAL	188
6.4.1 EL ESPECTRO PARA RADIODIFUSIÓN DIGITAL	189
6.4.1.1 Reordenamiento del espectro en las bandas de radiodifusión	189
6.4.2 CONVIVENCIA DE LAS TECNOLOGÍAS ANALÓGICAS Y DIGITALES	190
6.4.3 NUEVA TECNOLOGÍA Y NUEVOS SERVICIOS.....	191
6.4.3.1 Calidad de Servicio.....	191
6.4.3.2 Nuevos Servicios	191
6.4.3.3 Homologación de equipos	191
6.4.3.4 Implicaciones para el radiodifusor	192
6.4.4 COBERTURA	192
6.4.5 CONCESIONES Y ASIGNACIONES.....	193
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	194
7.1 CONCLUSIONES.....	194

7.2 RECOMENDACIONES.....	195
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	198
LIBROS	198
RECOMENDACIONES Y ESTANDARES.....	198
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS.....	199
TESIS Y DOCUMENTOS E.P.N.....	201
ANEXOS	203
RECOMENDACIONES UIT.....	204

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 Estación de radiodifusión básica.....	15
FIGURA 1.2 Vista de equipos de Radiodifusión Digital.....	16
FIGURA 1.3 Sistema básico de producción de sonido digital.	20
FIGURA 1.4 Discretización de una señal continua.....	21
FIGURA 1.5 Señal senoidal muestreada incorrectamente.....	22
FIGURA 1.6 Espectro de Salida de un muestreador.....	23
FIGURA 1.7 Proceso de Digitalización PCM.....	25
FIGURA 1.8 Efectos de la Propagación Multitrayectoria.	29
FIGURA 1.9 Portadoras COFDM.	31
FIGURA 1.10 Transmisión de portadoras en un tiempo de símbolo (Ts).....	33
FIGURA 1.11 Efecto del codificador convolucional y barajador con la interferencia.	35
FIGURA 2.1 Esquema de simplificado del sistema DAB.....	40
FIGURA 2.2 Esquema de un codificador DAB.	42
FIGURA 2.3 Modulación BPSK.	47
FIGURA 2.4 Modulación QPSK.....	48
FIGURA 2.5 Trama DAB.	50
FIGURA 2.6 Asignación de bloques para el canal 11.	53
FIGURA 2.7 Espectro Teórico del sistema DAB en cada uno de sus modos.	55
FIGURA 2.8 Sistema de Radio Digital IBOC.....	57
FIGURA 2.9 Reconstrucción del canal de audio.	59
FIGURA 2.10 Decodificación de fuente (AAC - SBR) en recepción.	59
FIGURA 2.11 Diagrama de bloques con los diferentes canales lógicos y de control.....	62
FIGURA 2.12 Espectro del sistema IBOC DBS híbrido.....	67
FIGURA 2.13 IBOC AM totalmente digital.....	70
FIGURA 2.14 Diagrama de Bloques con los diferentes canales lógicos y de control.....	71
FIGURA 2.15 Estructura de ambos tipos.	74
FIGURA 2.16 Subportadoras de la banda lateral inferior.	74
FIGURA 2.17 Subportadoras de la banda lateral superior.	75
FIGURA 2.18 Espectro de la forma de onda Híbrida.....	75

FIGURA 2.19 Espectro de la forma de onda Híbrida ampliada.	76
FIGURA 2.20 Espectro de la forma de onda completamente digital.	77
FIGURA 2.21 Multitrayecto.....	79
FIGURA 2.22 Formación de la señal DRM en el extremo transmisor.	80
FIGURA 2.23 Fuente de Audio.....	81
FIGURA 2.24 Detalle de una supertrama OFDM.	88
FIGURA 2.25 Diferencia entre modulador analógico y modulador DRM.....	88
FIGURA 2.26 Diagrama general del sistema ISDB-T.....	90
FIGURA 2.27 Servicios en el sistema de radiodifusión japonés.....	91
FIGURA 2.28 Formato de multiplexación en el sistema ISDB-T.	92
FIGURA 2.29 Asignación de segmentos a capas.	93
FIGURA 2.30 Codificación de Canal y Jerarquización.	94
FIGURA 2.31 Concepto de transmisión de ISDB-TSB e ISDB-T.	95
FIGURA 2.32 Compatibilidad entre sistemas ISDB-TSB e ISDB-T.....	96
FIGURA 2.33 Máscara del espectro de la señal ISDB-TSB en segmento único.....	97
FIGURA 2.34 Máscara del espectro de la señal ISDB-TSB de triple segmento.....	97
FIGURA 4.1 Tipos de redes de radiodifusión.....	127
FIGURA 4.2 Diferentes trayectos que toma la señal al llegar al receptor.	129
FIGURA 4.3 Sincronización en la red SFN.	131
FIGURA 4.4 Red de Radiodifusión digital.	133
FIGURA 4.5 Estructura de un sistema de radiodifusión analógico.....	133
FIGURA 4.6 Estructura de los sistemas de radio digital AM/FM.	134
FIGURA 4.7 Estructura de un sistema de radio digital con mayor ancho de banda.	134
FIGURA 4.8 Ejemplo de sistema sin transmisión distribuida.....	135
FIGURA 4.9 Transmisión distribuida.	135
FIGURA 4.10 Pequeños retransmisores locales dentro de una red SFN.....	136
FIGURA 4.11 Ampliación del área de cobertura utilizando reemisores co-canal. ...	137
FIGURA 4.12 Estructura de servicios de aplicación avanzada.	139
FIGURA 4.13 Diferentes modelos de autorradios.	143
FIGURA 4.14 Diferentes modelos de radios portátiles.....	144
FIGURA 4.15 Receptores para ordenador.	144

FIGURA 4.16 Receptores para el hogar.	145
FIGURA 4.17 Concepto de canal de retorno en el sistema DAB.	146
FIGURA 4.18 Canal de retorno en el sistema ISDB-T.	146
FIGURA 4.19 Guía de Programación Electrónica, EPG.....	148
FIGURA 5.1 Cadena de valor de los medios de comunicación.....	167
FIGURA 5.2 Diferentes receptores digitales disponibles en el mercado.	174
FIGURA 5.3 Distribución del sistema DAB en diferentes países del mundo.	176
FIGURA 5.4 Distribución del sistema IBOC en diferentes países del mundo.	177
FIGURA 5.5 Distribución del sistema DRM en diferentes países del mundo.	179
FIGURA 5.6 Distribución de los estándares de radio digital en el mundo	180
FIGURA 6.1 Organismos de control de las Telecomunicaciones en el Ecuador.....	186

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 Distancia, Velocidad y Duración con diferente numero de portadoras....	32
TABLA 2.1 Asignación de Símbolos para la modulación QPSK.....	49
TABLA 2.2 Asignación de Símbolos para la modulación DQPSK.....	50
TABLA 2.3 Número de programas por canal según la protección contra errores.	51
TABLA 2.4 Características del Sistema DAB.....	53
TABLA 2.5 Velocidad de información aproximada de los canales lógicos en AM.	63
TABLA 2.6 Velocidad de transmisión de los canales lógicos primarios.	72
TABLA 2.7 Velocidad de transmisión de los canales lógicos secundarios.....	72
TABLA 2.8 Modos de transmisión.....	85
TABLA 2.9 Principales Características del sistema ISDB-TSB.....	98
TABLA 3.1 Bandas usadas en el sistema japonés.....	110
TABLA 3.2 Tabla comparativa de los estándares de radiodifusión digital.....	112
TABLA 3.3 Costos en la Etapa de Producción.....	121
TABLA 3.4 Costos en área de Control.....	122
TABLA 3.5 Costos en el área de Transmisión.....	123
TABLA 5.1 Precios de algunos receptores que se ofrecen en el mercado mundial.	175
TABLA 5.2 Países con el sistema DAB implementado.....	177
TABLA 5.3 Países con elección y pruebas del sistema DRM.....	178
TABLA 5.4 Países con elección y pruebas del sistema ISDB-T/TSB.....	179
TABLA 6.1 El espectro radioeléctrico para radiodifusión.....	187

RESUMEN

A continuación se desarrolla un resumen del presente estudio en cada uno de sus capítulos:

CAPITULO 1:

PRINCIPIOS DE LA RADIODIFUSIÓN DIGITAL

En este capítulo se abordan los fundamentos básicos de la radiodifusión digital. Primeramente se analiza las características generales de los sistemas de radio digital, por consiguiente la composición básica de una estación de radiodifusión digital y finalmente se estudia el proceso general que realizan los sistemas de radiodifusión digital en cada una de sus partes como son, el sonido digital, multiplexación y modulación.

CAPITULO 2:

En este capítulo se hace una descripción de los 4 estándares de radiodifusión digital, DAB, IBOC, DRM e ISDB-TSB; los cuales servirán de base para el análisis comparativo en el capítulo 3.

CAPITULO 3:

Producto del análisis del capítulo 2, se realiza una comparación de los 4 sistemas expuestos en el presente estudio. Primeramente se describe los aspectos técnicos a tener en cuenta para evaluar un sistema de radio digital. Por consiguiente se describe a cada uno de los sistemas desde el punto de vista tecnológico, de transición, situación mundial, receptores y costo para los radiodifusores, para finalizar esta sección del capítulo, se realiza la comparación de los estándares, estos últimos con las respectivas ventajas y desventajas. Finalmente se realiza un estudio de costos general, para la implementación de una estación de radiodifusión digital.

CAPITULO 4:

En este capítulo se desarrolla una descripción de las redes de distribución. Primeramente se describen las redes multifrecuencia y de frecuencia única. Por consiguiente, se describe la estructura de red común para los sistemas de radio digital. Finalmente se describen las características de los terminales de usuario.

CAPITULO 5:

El capítulo hace referencia al proceso de transición de la radiodifusión digital en el país. Primero se describe la situación actual de la radio digital y los aspectos políticos de algunos de los países en América. Por consiguiente se describe el modelo de la radio tradicional y finalmente, se describen los aspectos a tener en cuenta para la transición a un sistema de radio digital.

CAPITULO 6:

En este capítulo se realiza un análisis de los diferentes aspectos que se debería tener en cuenta para la regulación en el país.

CAPITULO 7:

En este capítulo se desarrollan las conclusiones y recomendaciones. Los cuales abarcan la elección de dos de los cuatro sistemas de radio digital, que para el punto de vista de los autores, son adecuados aplicarlos en el Ecuador.

PRESENTACIÓN

El presente estudio, aborda algunos de los estándares de radiodifusión digital terrestre, los cuales han sido implementados en diferentes países del mundo. El estudio tiene como objetivo, establecer fundamentos y comparaciones, tanto desde el punto de vista técnico, así como un análisis de la situación actual en los diferentes países con radiodifusión digital.

La radiodifusión digital, traerá beneficios, tanto desde el punto de vista del radiodifusor, como del usuario. Una importante característica de los sistemas de radiodifusión digital, es el ahorro de ancho de banda en el espectro radioeléctrico, con la implementación de mejores servicios. Existen varios servicios que tendrá la radiodifusión digital, entre los que se puede mencionar, los de música, en formato digital recibido en el receptor, texto de la canción, autor, mensajes de tráfico, etc.

En base a todas las especificaciones técnicas y acuerdos políticos, el país, deberá establecer cuál es el estándar que más se adapta, precautelando el bienestar de todos los actores que están involucrados en este servicio.

CAPÍTULO 1

PRINCIPIOS DE LA RADIODIFUSION DIGITAL

1.1 INTRODUCCIÓN

La Radiodifusión Digital de audio funciona mediante la modulación de la señal portadora en el transmisor, con una señal de audio digital en lugar de una forma de onda analógica, es decir un transmisor de radio digital procesa los sonidos en patrones de bits. Por el contrario, la radio analógica tradicional procesa los sonidos en patrones de señales eléctricas que asemejan ondas de sonido.

La FM analógica funciona razonablemente bien para estaciones fijas de recepción, donde puede montarse una antena direccional en un lugar seleccionado, pero presenta muchos problemas cuando la recepción es móvil, donde no existe ningún control sobre la localización y donde no cabe plantearse el tema de una gran antena direccional. El mayor inconveniente de la radiodifusión es la recepción por trayectoria múltiple, donde la señal directa se recibe junto con esos retardos procedentes de grandes cuerpos reflectores tales como edificios de gran altura. A ciertas longitudes de onda, la reflexión se recibe en anti fase con respecto a la señal directa y se produce una atenuación que provoca un vacío en el espectro de recepción. En un sistema analógico, las pérdidas de señal son inevitables.

La Radiodifusión Digital, conocida por sus siglas en inglés como DSB (Digital Sound Broadcasting) o DAB (Digital Audio Broadcasting), siglas muchas veces confundida con el estándar europeo DAB, tecnología que permite la transmisión de señales de audio con calidad digital y la utilización de algoritmos de compresión eficaces, permitiendo a este sistema utilizar el mismo ancho de banda asignado. Para el caso de las estaciones analógicas moduladas en amplitud se obtienen una calidad de audio similar a las actuales estaciones de Frecuencia Modulada y una calidad similar a la de un Disco Compacto para el caso de las estaciones de Frecuencia Modulada. En algunos casos durante el tiempo de transición se transmiten señales analógicas y

digitales en el mismo canal, permitiendo la recepción del programa tanto para los actuales receptores analógicos como para los digitales de una manera híbrida.

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:

- a los procesos de producción (más calidad).
- a los procesos de transmisión (uso eficaz del espectro, señal más resistente a interferencias, señal que potencialmente puede utilizar distintos soportes).
- y a los sistemas de recepción de los programas de radio (mejores coberturas y condiciones técnicas de recepción).

Se implanta una nueva forma de hacer, de contar, de gestionar y de hacer negocio en este medio tradicional que ha sido reacio a introducir cambios tan radicales. 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.

1.1.1 ¿QUE ES LA RADIO DIGITAL?

Esta historia que suena tan futurista es hoy ya una realidad aunque tan sólo puedan disfrutar de ella unos pocos. A pesar de ello, sirve para comprender cómo será la radio del futuro, una radio digital. Y será así por cuanto esta tecnología conlleva unas indudables ventajas ya experimentadas en el campo de la televisión.

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 toma como referencia actual, la calidad del sonido digital de los compact disc y comienza a exigir la misma calidad en el sonido radiofónico.

La transmisión con tecnología digital puede ofrecer una mejora en su cobertura y disponibilidad con una mayor capacidad de canal o una combinación de estos dos, esto se espera que remplace a la transmisión analógica en muchas áreas, pero como los sistemas de transmisión con tecnología digital son incompatibles con los sistemas actuales de transmisión analógica de AM y FM será necesario un recambio tecnológico en los receptores.

La radio digital es la transmisión y la recepción de sonido que ha sido procesado utilizando una tecnología comparable a la que se usa en los reproductores de discos compactos (CD, por sus siglas en inglés.) En síntesis, un transmisor de radio digital convierte sonidos en series de números o “dígitos”, de ahí el término radio digital.

Así se obtienen una serie de números binarios que constituyen la traducción perfecta del mensaje original. En cambio, las radios analógicas tradicionales convierten los sonidos en series de señales eléctricas que se asemejan a ondas de sonido.

El desarrollo de la radio digital ha sido mejorada por un gran avance en las técnicas de codificación de la señal digital usadas en Radio frecuencia y en sistemas de audio. Las técnicas de compresión digital han mejorado la calidad del sonido, con la ocupación de menos ancho de banda por sus bajas tasas de bits.

La radio digital FM es capaz de proporcionar un sonido claro de calidad comparable a la de los CDs. Los receptores digitales proporcionan un sonido significativamente más claro que las radios analógicas convencionales, así como los CDs tienen un sonido más claro que los discos de álbum.

La radio digital AM puede proporcionar un sonido de calidad equivalente a la de la radio analógica FM, y suena mucho mejor que la radio analógica AM. Algunas estaciones de radio creen que la radiodifusión digital podría traer de nuevo programación musical a la banda AM. En el caso de recepción, la radio digital es más resistente a las interferencias, y elimina muchas imperfecciones de la

transmisión y recepción de la radio analógica. Podría producirse alguna interferencia en las señales de radio digital en las áreas distantes de la estación emisora.

La gran fortaleza de los presentes sistemas de transmisión analógica en todo el mundo es la normalización sobre dos sistemas (FM y AM). Esto permite a los oyentes a usar una radio para recibir diferentes programas en cualquier lugar. Sin embargo en el desarrollo de los sistemas digitales es ahora claro que la normalización en estos sistemas no será tan fácil de lograr. Diferentes requerimientos de mercado son manejados en los sistemas digitales para ser mejor adaptados a una aplicación, a medida de satisfacer a una región, país o de acuerdo a las necesidades de los radio escuchas. Además, la complejidad de los sistemas digitales en comparación con los sistemas analógicos ya existentes fomenta esta diferenciación.

1.1.2. ¿COMO FUNCIONA UNA RADIO DIGITAL?

En la actualidad las señales de audio y otros contenidos de la radio analógica contienen mucha información. Esto comprende “un rango potencialmente ilimitado de valores que progresan continuamente a través del tiempo” en cambio los sistemas de radiodifusión Digital dependen de una serie de desarrollos para reducir esto a un número manejable de pedazos en código binario llamados bits por segundo. Un bit consiste de una sola instrucción binaria, 0 o 1.

Estas técnicas incluyen:

- **Muestreo:** Los sistemas de audio digital toman un gran número de muestras por cada segundo (Por ejemplo el audio para ser grabado en un disco compacto (CD) se muestrea 44100 veces por segundo).
- **Cuantificación:** La muestra es descompuesta en una serie finita de valores, en lugar de tener un rango infinito de valores. La calidad del sonido como el volumen o comprensión, se expresa como una serie finita de pasos o niveles.

Una vez que la señal de sonido ha sido muestreada y cuantificada, se puede codificar en forma binaria para la transmisión y recepción. Incluso si el sonido ha sido codificado en un número finito de bits la cantidad de información que será transmitida es todavía un desafío (una pista de un CD estéreo requiere una tasa de 1.4112 megabits por segundo (Mbit/s)). Por consiguiente los Ingenieros han desarrollado una serie extensa de atajos llamado "compresión de audio", que reduce la cantidad de datos digitales requeridas para ser transmitida, quitando información redundante o removiendo los datos no-críticos.

Hay una variedad de técnicas para la compresión de audio, que han ido evolucionando en estos últimos años. Las mejoras siguen continuándose hasta ahora permitiendo a las nuevas técnicas, lograr una gran calidad audio, todas basándose en las técnicas anteriores pero con una tasa más baja de bits, por consiguiente lográndose una mayor eficacia.

Comprimida la señal de audio digital entonces puede transmitirse a los oyentes en una variedad de formas, siendo la radio digital una de ellas. Por ejemplo: Vía Internet, Wi-Fi y teléfonos móviles 3G. En un sistema de radio digital, la señal de audio digital comprimida puede transmitirse directamente al usuario final no en forma cableada, sino por medio de las ondas electromagnéticas. Esto presenta un desafío clave para el diseño de sistemas como una transmisión de radio, que puede sufrir la señal deterioros como la interferencia de otras señales y fuentes de ruido naturales (el ruido atmosférico), como artificiales hechas por el hombre.

Si el receptor es fijo o móvil es también un criterio de diseño importante, así como las características del canal de radio que variará con el tiempo en la recepción del móvil.

Por consiguiente, las técnicas especiales de modulación¹ necesitan asegurar que el receptor puede descifrar las señales con precisión después de la transmisión a través del canal de radio.

La elección en la técnica de modulación y protección contra errores, es una consideración importante para el diseño de un sistema de radio digital ya que de estos depende el desempeño del sistema contra la presencia de ruido e interferencia. Todos los sistemas de radio digital proporcionan una técnica de modulación digital a las estaciones transmisoras. Las técnicas de modulación que tienen las más altas tasas de transmisión son generalmente más propensas a la interferencia, que aquéllas técnicas de modulación con más baja tasa de transmisión. Finalmente, existirá una negociación entre el cliente y la estación transmisora, debido a los servicios de valor agregado que ofrecerá dicha estación. Mientras algunos sistemas digitales se modulan con una sola frecuencia de portadora, la mayoría de los sistemas de radio digital, modulan un gran número de portadoras usando una técnica conocida como Multiplexación por División de Frecuencia ortogonal codificada (COFDM). Cientos o algunas veces miles de frecuencias portadoras se modulan con la señal de audio digital siendo la señal extendida (usando una técnica codificada) por todo el ancho de banda disponible en el canal de radio. El uso de COFDM ayuda a cubrir los problemas de disponibilidad que tenía el receptor móvil y permite el uso de una sola frecuencia de red, dónde esta misma frecuencia o canal puede usarse en múltiples sitios de transmisión sin la interferencia cocanal.

Adicional a los métodos de codificación, estos se utilizan para proporcionar al receptor dentro de los límites la habilidad de corregir los errores en la señal recibida y

¹ **Modulación:** Es el proceso usado para transformar la señal de datos de audio a una forma adecuada para la transmisión.

demodulada. A menudo los métodos involucran una gran cantidad de redundancia en la señal transmitida.

En varios sistemas el transmisor puede tratar esta redundancia y la protección contra errores, para alcanzar una mayor velocidad de datos, qué podría usarse para una mayor calidad de sonido o en los servicios de datos extras.

COFDM es un gran beneficio para los sistemas de banda ancha dónde el gran número de portadoras proporciona alguna inmunidad en el desvanecimiento de la señal. Es más, la banda ancha también proporciona una gran capacidad de transportar datos y la habilidad de portar múltiples señales de audio o programas dentro de un canal de radio.

Para la transmisión, la multiplexación de señales vecinas tiene implicaciones de infraestructura porque las señales necesitan ser distribuidas a un punto común para multiplexarse antes de ser transmitidas. Esto es significativamente diferente a la propuesta de la transmisión analógica de un transmisor por programa.

1.2. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA RADIO DIGITAL

1.2.1. SERVICIOS DE AUDIO

Mejor calidad de audio, desde el punto de vista del radioescucha, los receptores de radio digital proporcionan una calidad de sonido que es significativamente mejor que los radios analógicos convencionales, de la misma manera que los CDs suenan mejor que los LPs, con señales más fuertes y nuevos servicios auxiliares tales como canales múltiples de programación de audio, servicios de audio a petición, y funciones interactivas.

1.2.2. SERVICIOS DE DATOS

A más del servicio de audio digital, la radiodifusión digital, puede ofrecer los servicios que se enuncian a continuación:

1.2.2.1. Información del programa de audio

Los receptores de Radio Digital de la primera generación apoyan el despliegue del texto "ID3 Tag data"², tal como el título y artista de una canción, nombre del disco, estilo de música y información comercial/promocional.

Dependiendo del tipo de codificador a usar, se puede transmitir datos asociados al programa denominado en algunos sistemas como PAD³. Este es un conjunto de datos que se transmiten junto a los datos digitalizados de audio. Esta información, está estrechamente relacionada con el programa de audio, la cual puede tratarse de la letra de las canciones, títulos, autores, etc.

1.2.2.2. Servicios suplementarios

Los sistemas de radiodifusión digital, pueden ofrecer otros tipos de servicios, que pueden estar asociados a otros servicios o pueden ser independientes. Estos pueden ser, la información del tipo de programa transmitido, como noticias, deportes, etc., mensajes de tráfico para el viajero, información meteorológica, información turística, servicios de emergencia, noticias electrónicas, contenido multimedia, etc.

1.2.2.3. Acceso condicional

Los sistemas de la Radio digital incluyen funciones para brindar servicios a usuarios determinados. Esta función se conoce como Acceso Condicional (CA⁴), es opcional, e incluye tres funciones principales: La encriptación/desencriptación, chequeo de autorización y manejo de autorización.

² **ID3 Tag data:** Es un bloque pequeño de información añadido al final del archivo, conteniendo los campos de longitud y arreglo para: Álbum, artista, título, género y comentario.

³ **PAD:** Program associated data.

⁴ **CA:** Conditional Access.

La función de la encriptación/descriptación es hacer que el servicio sea incomprensible a los usuarios no autorizados. El chequeo de autorización en radiodifusión consiste en obtener las condiciones necesarias para acceder a un servicio. La función de manejo de autorización es la de distribuir las autorizaciones a los receptores.

1.2.3 CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO

Conlleva a tener, la capacidad de “rebobinar” programas de audio o grabar bloques de programación para reproducirse más tarde. Los programas se almacenarían dentro del receptor para reproducirlos después.

1.2.4 DISPONIBILIDAD DEL SERVICIO

Para proyectos de Radiodifusión Digital terrestre se ha utilizado un criterio básico para disponibilidad en la que se requiere que el 50% de los emplazamientos dentro de un área de cobertura cumplieren con los parámetros de calidad durante el 90% y 99% del tiempo. El objetivo de la disponibilidad del servicio es incrementarse y particularmente para servicios de alta calidad como es la Radio Digital tiene que llegar a un 95% - 99% de emplazamientos y tiempo de respuesta.

Los requisitos para una buena disponibilidad de servicio son:

- Recepción vehicular, portátil y fija.
- Gran cobertura en términos de emplazamiento y tiempo.
- Características aceptables de falla.
- Alta inmunidad a efectos por multitrayectos y efecto Dopler⁵ en el receptor móvil.

⁵ **Efecto Dopler:** Alteración de la frecuencia debido al movimiento de la fuente sonora o del receptor.

Entre las técnicas posibles para incrementar la disponibilidad del servicio se incluyen la diversidad temporal, la diversidad de frecuencia y la diversidad espacial en el receptor, además de la utilización de repetidores terrestres para cubrir las zonas de sombra.

1.2.4.1 Diversidad Temporal

Consiste en repetir los mismos datos en periodos de tiempos diferentes, esto se logra con un codificador convolucional y un barajador.

1.2.4.2 Diversidad de Frecuencia

Se divide la señal en dos cuya frecuencia es diferente, por consiguiente, se transmiten simultáneamente y en recepción se minimiza los efectos del desvanecimiento utilizando la señal con mejor calidad.

1.2.4.3 Diversidad Espacial

Consiste en la habilitación de dos trayectos radioeléctricos, disponiendo de dos antenas receptoras separadas verticalmente algunas decenas de longitudes de onda, de forma que la señal emitida por un único transmisor se reciba por dos caminos distintos en dos receptores separados.

1.2.5. DISTRIBUCIÓN DEL SERVICIO

La primera ruptura digital es la que establece nuevas reglas de juego en los sistemas de distribución de señales.

La radio multiplica sus posibilidades de transmisión al producirse un proceso de complementariedad y diversidad de soportes que le permite utilizar canales diferentes en el espectro electromagnético. Los soportes se multiplican, dejan de ser un bien escaso, aumentan su capacidad de transporte y mejoran sus condiciones de propagación.

Para esto se debe tomar en cuenta el procesamiento común de la señal en los receptores para:

- Redes terrestres VHF/UHF locales, regionales y nacionales.
- Utilización combinada o híbrida de los servicios terrestres y satelitales nacionales e internacionales en ondas decimétricas.
- Existencia de canal de retorno (interactividad con el usuario).

En todos los países, será necesario planificar de manera que puedan utilizarse un receptor común para todos los tipos de distribución mencionados, antes de concebir un sistema o un estándar de radio Digital.

1.2.6 EFICACIA ESPECTRAL

La radiodifusión digital, ofrece mejorar el espectro electromagnético, producto de las técnicas de modulación usadas. En este sentido se ofrece:

- Alta eficacia en la utilización del espectro.
- Provisión de servicios de múltiples programas dentro de una banda continua de frecuencias.
- La capacidad de implantar redes de frecuencia única (SFN: Single Frequency Networks), que permiten acceder al mismo servicio sintonizando la misma frecuencia en toda la zona de cobertura (nacional, regional, etc.). Esto proporciona una mayor comodidad, además de un considerable ahorro espectral porque para evitar la interferencia cocanal⁶, ahora ya no se tiene en cuenta las distintas señales de una misma emisora provenientes de repetidores en zonas alejadas.

⁶ **Interferencia Cocanal o del mismo canal:** Son interferencias debidas a dos zonas de cobertura, las cuales poseen transmisores que radian la misma frecuencia.

1.2.7 CONFIGURACIONES DEL SERVICIO

El radiodifusor, puede decidir, que tipo de programas se transmitirán, la calidad de los mismos, así como los nuevos servicios que existirán:

- Gran calidad de sonido estereofónico mediante dos o más canales, de calidad subjetiva, indistinguible para los medios de grabación digital de consumo de alta calidad (calidad de disco compacto), en receptores a bordo de vehículos, portátiles y fijos.
- Posibilidad de ofrecer servicios de valor añadido con capacidades de datos diferentes (por ejemplo, canales de mensajes de tráfico, datos del sector comercial, radio búsqueda, imágenes fijas, gráficos, la futura radiodifusión digital de servicios integrados, multiplexación de vídeo/audio a baja velocidad binaria, etc.).
- Facilidades perfeccionadas para los datos relacionados con los programas (por ejemplo, identificación del servicio, etiquetado del programa, control de distribución de programas, control de los derechos de propiedad intelectual, acceso condicional, enlace dinámico de programas, servicios para personas con incapacidad auditiva o de visión, etc.).
- Ubicación/Reubicación flexible de servicios, sin afectar su continuidad.

1.2.8 INTERFACES

Los nuevos sistemas traen la tecnología necesaria, para que se pueda lograr una interactividad entre los nuevos equipos de radio y los equipos ya existentes.

- Capacidad de grabación de señales de audio (Baja velocidad binaria) y de los datos correspondientes. Esto implica la grabación de toda la señal de programa, incluyendo datos relacionados con el programa, y la posibilidad de acceder a pequeños bloques de datos de la señal codificada.

- Capacidad de interfaz para datos con equipos informáticos y con redes de comunicación.

1.2.9 MEJOR RECEPCIÓN DE LA INFORMACIÓN

La Radio Digital mejora la recepción del sonido porque se superan los efectos que la propagación multitrayecto, debida a edificios o montañas, produce en los aparatos receptores estacionarios, portátiles y móviles, protegiendo la información de interferencias. Estas mejoras se consiguen mediante la transmisión con modulación COFDM, que utiliza un sistema para distribuir la información entre muchas frecuencias.

1.3 CALIDAD DE SONIDO

Los sistemas de codificación de audio más avanzados tienen una más baja tasa de datos para lograr el mismo servicio de calidad, pero a costa de una complejidad mayor y un aumento en el retraso de la codificación/decodificación.

Medidas cuantitativas como la relación señal a ruido, respuesta de frecuencia o distorsión, no pueden totalmente describir la calidad de un sistema de compresión de audio. Las pruebas subjetivas de radioescuchas son actualmente la única manera de evaluar dichos sistemas pero desafortunadamente algunos materiales se escucharán bien para algunas personas y para otras no. Hay nuevos métodos de medida de percepción que usan modelos de psicoacústica y pruebas subjetivas de datos, pero estas todavía no son tan confiables como los test subjetivos.

Los test subjetivos para radioescuchas han sido dirigidos por varias organizaciones en un esfuerzo para cuantificar la reducción de la tasa de datos para una buena calidad de audio. Mientras que las pruebas muestran claramente que las más avanzadas técnicas de codificación de audio producen una reducción significativa en la tasa de datos, hay todavía una conjetura acerca de qué tasa de datos es necesaria para proporcionar una buena calidad audio.

En los inicios de los 90s, la UIT produjo recomendaciones la BS.774 y la BO.789⁷ que definió los requisitos para el servicio de radio digital en los receptores vehiculares, portátiles y fijos que usan transmisiones terrestres en las bandas de VHF/UHF así como para el servicio de sonido pero usando transmisión satelital en el rango de frecuencia de 1 400 - 2 700 MHz.

Los objetivos del servicio para la transmisión de sonido digital pueden jugar un rol importante en la determinación del tipo de sistema o estándar a ser implementado, así como su diseño y costo. Por lo que en los sistemas de Radiodifusión Digital se espera obtener una calidad de sonido superior a los receptores fijos de FM. Debido a esto los objetivos de calidad están en el rango desde grado 3 para un simple sistema monofónico en la escala de 5 de la UIT-R hasta el grado 4.5 para un sistema digital avanzado.

1.3.1 NIVELES DE CALIDAD DE SONIDO

La UIT recomendó que los sistemas de radiodifusión digital para los receptores vehiculares, portátiles y fijos, deben ser capaces de proporcionar un sonido estereofónico de alta calidad de dos o más canales con calidad subjetiva e indistinguible similar a la de los grabadores digitales de alta calidad como son los discos compactos.

1.3.2. SEÑALES DE CONTROL DE SONIDO

Durante una transmisión normal, se transmitirá información de control sobre la representación de niveles de calidad de sonido (sonoridad, rango dinámico de compresión etc.).

⁷ Ver Anexo No 1

1.4 GENERALIDADES DE LA ESTACIÓN DE RADIODIFUSIÓN CON TECNOLOGÍA DIGITAL

1.4.1 SISTEMA BÁSICO DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL

La estación de radiodifusión básica, está compuesta por equipos que se muestran en la figura 1.1. A menudo la llaman a esto una cadena de audio, porque varios equipos están unidos, dependiendo uno del otro.

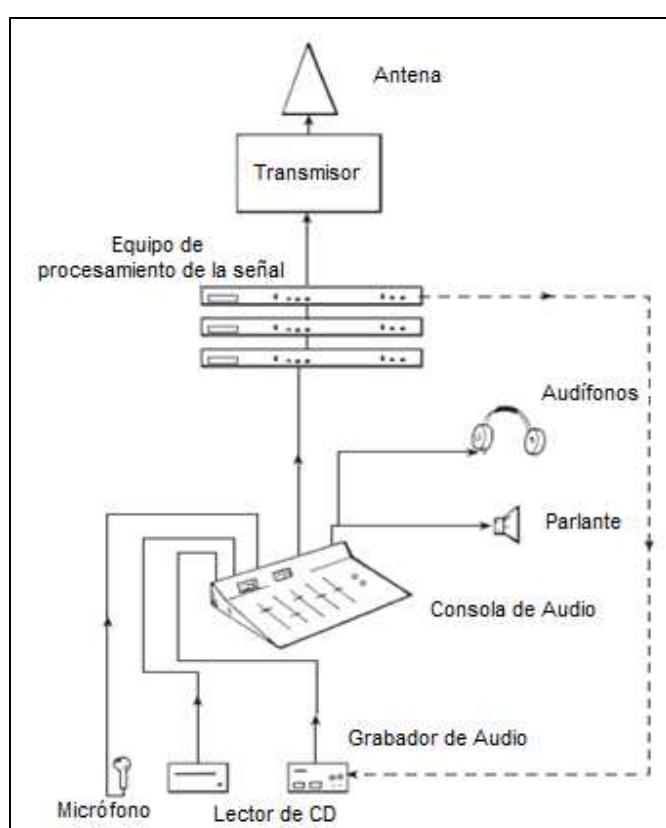


FIGURA 1.1 Estación de radiodifusión básica [33].

El transporte puede ser complicado ya que el sonido puede variar a lo largo del camino. Por ejemplo, cuando el sonido es copiado del CD al Minidisco o cuando simplemente este es ecualizado, que es una forma de procesamiento de la señal. Las líneas de enlace en la figura 1.1 muestran como el sonido se envía a la consola

de audio desde una variedad de fuentes de audio. A continuación, pasa a través del equipo de procesamiento de la señal y por último al sistema de transmisión.

1.4.2 COMPONENTES DE LA ESTACIÓN DE RADIO DIGITAL

La estación de Radio Digital se puede dividir en dos grupos.

- Equipos de baja frecuencia (estudios de salida al aire y producción).
- Equipos de alta frecuencia (transmisores, enlaces y antenas).

1.4.2.1 Equipos de baja frecuencia



FIGURA 1.2 Vista de equipos de Radiodifusión Digital [33].

- **Interfaces:** Entre estos se puede señalar el estándar AES/EBU⁸, que se encuentra en aquellos equipos que permiten la recepción o transmisión de datos digitales. AES/EBU es una de las tecnologías usadas en la transmisión de datos DIGITALES entre equipos. Es un estándar internacional que usa los típicos conectores de 3-pines usados en los micrófonos pero para fines DIGITALES.

⁸ AES/EBU Audio Engineering Society \ European Broadcast Union

- **Consola o mezclador:** La consola es el elemento central. Con este aparato se mezcla las diferentes fuentes de sonido los cuales pueden ser micrófonos, CDs, computadora, etc. La consola se la usa generalmente para producción la cual proporciona al operador un control total sobre el volumen, ecualización, envío y retorno de efectos, y posicionamiento panorámico entre los parlantes así como las señales aplicadas a sus entradas ya sean provenientes de micrófonos, instrumentos electrónicos, efectos o grabadoras. También con la capacidad de dirigir o “rutear” de manera rápida y sencilla estas señales en forma individual o combinada a otros equipos en la estación. Desde la aparición de grabadoras multipista es posible dividir una producción en tres etapas fundamentales: grabación, re-grabación y mezcla.
 - ✓ **Grabación:** La fase de grabación involucra el proceso físico de registrar instrumentos acústicos y/o electrónicos en un medio de almacenamiento elegido.
 - ✓ **Re-grabación:** Es el proceso por el cual, instrumentos que no fueron ejecutados originalmente, pueden ser grabados en otras pistas de la grabadora en forma posterior. En este punto, los músicos escuchan con auriculares los instrumentos previamente grabados y tocan sobre ellos. Estas sobré grabaciones pueden repetirse cuantas veces sean necesarias hasta alcanzar la interpretación deseada.
 - ✓ **Mezcla:** Luego de que todas las partes han sido grabadas y aceptadas por el artista y el productor, comienza la etapa de mezcla. En este momento, las entradas de la consola son alimentadas por las salidas de la grabadora multipista. La cinta es escuchada varias veces mientras que se realizan los cambios en nivel, ecualización, efectos y paneo para cada pista. Durante este proceso artístico, cada instrumento es manipulado hasta que es alcanzado el balance general de la mezcla y ésta es registrada en el formato elegido para la mezcla final.
- **Micrófonos:** Es un conversor electroacústico, el cual convierte la voz en señales eléctricas.

- **Audífonos:** Sirven para que los invitados a la radio y los propios locutores se escuchen, y así evitar la retroalimentación del sonido por los micrófonos.
- **Altavoces:** Se encuentran en la cabina de control, para escuchar el sonido al aire.
- **Lectores de discos compactos:** Como la música ya se guarda directamente en la computadora están en desuso. En este equipo se reproduce el audio con sonido digital.
- **Estación de trabajo para audio digital:** Una estación de audio digital (DAW)⁹ es un sistema electrónico diseñado para grabar, editar y reproducir audio digital. Una característica importante de (DAWs) es la capacidad de manipular libremente sonidos grabados. El término (DAW) simplemente se refiere a una combinación general de software de múltiples pistas de audio y hardware de audio de alta calidad siendo este último una unidad de conversor de audio que realiza la conversión de analógico a digital (ADC)¹⁰ y de digital a analógico (DAC)¹¹. Por ejemplo un sistema de 8 pistas tendría ocho entradas discretas y un cierto número de salidas, quizás sólo una salida estéreo sea para reproducir y monitorear. La computadora actúa como un controlador entre la tarjeta de sonido y el software, proveyendo de energía para el procesamiento y la edición de audio. La tarjeta de sonido actúa como una interfaz de audio, convirtiendo las señales analógicas de audio a un formato digital, también puede ayudar en el procesamiento de la señal de audio. El software controla los dos componentes del hardware, proporcionando una interfaz para el usuario que le permite grabar y editar. Muchas estaciones de radio prefieren usar DAWs basado en una computadora sobre DAWs integradas.

⁹ (DAW) Digital Audio Workstation

¹⁰ (ADC) Analog Digital Converter

¹¹ (DAC) Digital Analog Converter

- **Procesadores de audio:** Antes de enviar la señal al transmisor, el audio pasa por este equipo el cual es ecualizado y comprimido. En esta sección se puede usar software como por ejemplo las tecnologías MPEG¹².

1.4.2.2 Equipos de alta frecuencia

Los equipos de alta frecuencia constan del transmisor y Antenas, estos son los equipos y elementos necesarios para adaptar la señal de audio digitalizada al medio de transmisión. Los transmisores analógicos procesan el sonido en señales eléctricas o analógicas, un transmisor digital procesa el sonido en un patrón de bits.

En este sentido y con un mundo en constante cambio, se han presentado varios sistemas para administraciones que deseen cambiar de radio analógica a digital, por lo que la UIT a propuesto 2 Recomendaciones:

- UIT-R BS.1114¹³, la cual presenta un análisis de la radiodifusión sonora digital terrenal en la gama de frecuencias de 30-3.000 MHz , con los siguientes sistemas:
 - ✓ DAB Eureka 147
 - ✓ IBOC-FM
 - ✓ ISDB-TSB
- UIT-R BS.1514¹⁴, para radiodifusión sonora digital en las bandas de radiodifusión por debajo de 30 MHz, se implementen los sistemas DRM e IBOC- AM.

1.5 ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE SONIDO DE ALTA CALIDAD

¹² MPEG, es un grupo de trabajo que desarrolla estándares referentes a codificación de audio y video.

¹³ UIT-R BS.1114 Ver Anexo No1

¹⁴ UIT-R BS.1514 Ver Anexo No 1

1.5.1 PRINCIPIOS DE SONIDO DIGITAL

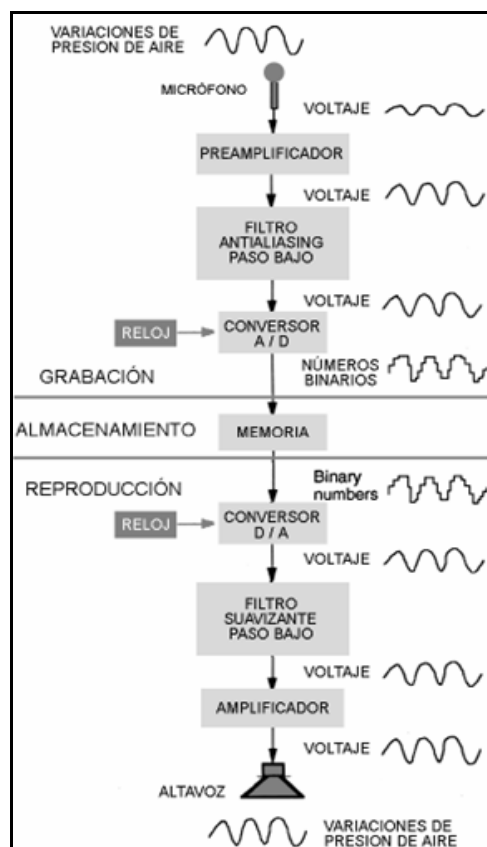


FIGURA 1.3 Sistema básico de producción de sonido digital [22].

1.5.1.1 Procedimientos para la digitalización de la señal de audio analógica

El principio fundamental del audio digital consiste en discretizar las señales sonoras continuas (como las emitidas por un micrófono) para convertirlas en secuencias de números. La discretización de estas señales se lleva a cabo en dos niveles diferentes, el temporal y el de la amplitud.

En la figura 1.4 se muestra una señal continua, discretizada sólo en el tiempo (cuadros blancos) y en el tiempo y la amplitud (puntos negros). Cuanto menor sea la cuadrícula, mayor similitud existirá entre la señal original y la señal digitalizada.

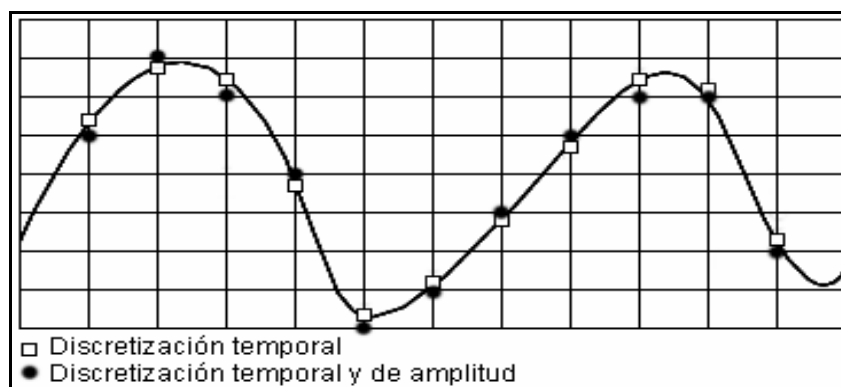


FIGURA 1.4 Discretización de una señal continua [22].

Al conjunto de procedimientos para la digitalización de la señal se lo denomina DSP

¹⁵ Las Señales Digitales pueden obtenerse mediante:

1.5.1.1.1 Procedimientos específicos o síntesis Digital

En este tipo de procedimiento el sonido se genera a partir de la combinación de elementos simples normalmente señales periódicas y funciones matemáticas que se encuentran almacenadas para posteriormente ser procesadas, amplificadas y escuchadas en un altavoz.

1.5.1.1.2 Transformando una señal acústica o analógica en una señal digital, el muestreo.

La palabra muestreo es el equivalente del término inglés sampling, y se utiliza para indicar la acción de tomar muestras a intervalos de tiempo regulares. Para digitalizar un sonido es necesario muestrearlo.

Para comprender este fenómeno en la figura 1.5 se representa una señal sinusoidal de 30 Hz. Si la señal se muestrea a una frecuencia de 20 Hz. En este caso, se estará tomando el valor de la onda original cada 0,05 segundos. La nueva señal obtenida

¹⁵ **DSP:** Digital Signal Processing (Procesamiento digital de la señal)

juntando los puntos muestreados tiene un período aparente de 0,1 segundos, es decir una frecuencia de 10 Hz, lo cual no corresponde en absoluto con la señal original.

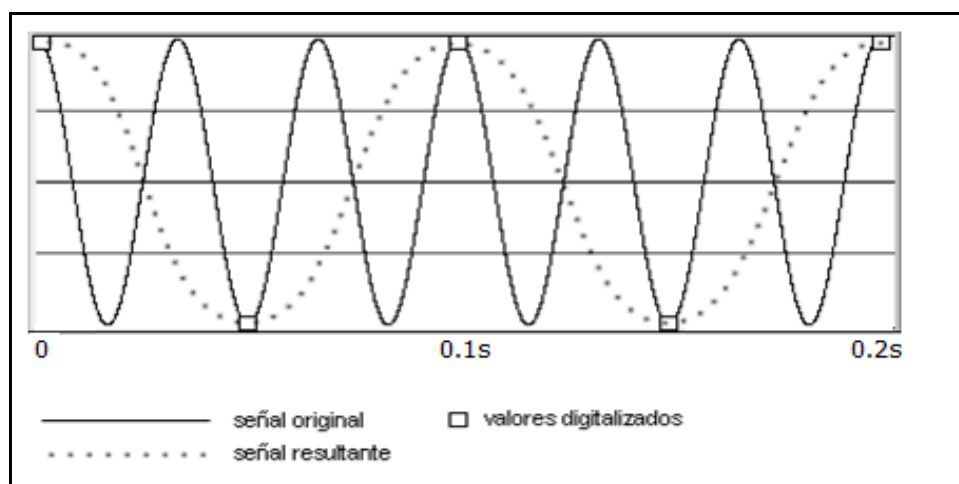


FIGURA 1.5 Señal senoidal muestreada incorrectamente [22].

Por lo tanto para que una muestra se reproduzca con exactitud en el receptor se debe muestrear al menos dos veces cada ciclo de la señal analógica de entrada. En consecuencia la frecuencia mínima de muestreo (f_s) es igual o mayor al doble de la frecuencia máxima de la entrada de audio (f_a).

$$f_s \geq 2f_a \quad (1.1)$$

En el ejemplo de la figura anterior, una frecuencia de 60 Hz hubiese pues bastado para muestrear correctamente la señal original. El oído humano es capaz de detectar frecuencias sonoras de hasta aproximadamente 20.000 Hz, por lo que, para muestrear correctamente cualquier sonido se necesitará una frecuencia de muestreo superior o igual a 40.000 Hz.

1.5.1.1.3 Muestreo con frecuencias inferiores

Existe, sin embargo un problema adicional. El teorema de Nyquist sugiere que se debe muestrear al doble de la frecuencia máxima que ingresa al sistema, si no sucede esto al muestrear con frecuencias inferiores a lo que sugiere el límite de Nyquist, surgen frecuencias que realmente no están en el sonido original (como los 10 Hz del ejemplo) y que alteran el sonido muestreado. Este fenómeno de distorsión recibe el nombre de aliasing.

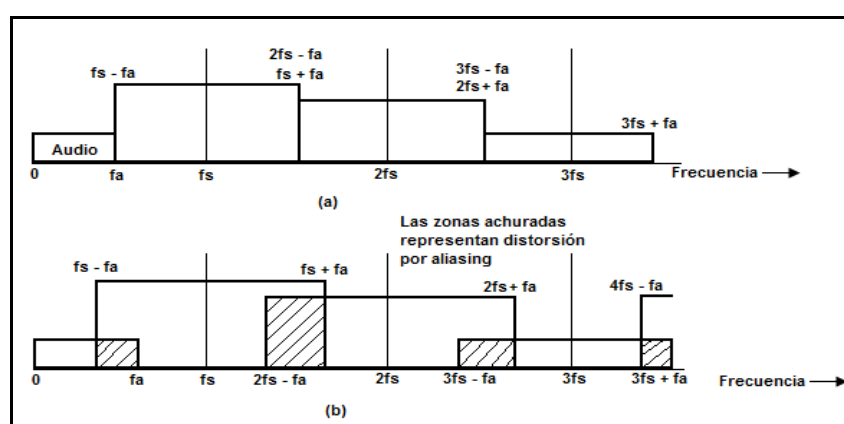


FIGURA 1.6 Espectro de Salida de un muestreador [5]: (a) Sin distorsión por aliasing; (b) Con distorsión por aliasing.

La figura 1.6(a) representa el espectro de salida, en la salida se incluyen dos entradas adicionales originales (de audio y la frecuencia fundamental del pulso de muestreo), sus frecuencias de suma y diferencia ($fs \pm fa$) todas las armónicas de fs y fa y sus productos cruzados ($2fs \pm fa$, $3fs \pm fa$, etc.).

Cada suma y diferencia de frecuencias está separada de su respectiva frecuencia central por fa . Mientras fs sea al menos el doble de fa , ninguna de las frecuencias laterales de alguna armónica entrará en las bandas laterales de otra armónica. La figura 1.6 (b) muestra el resultado de una entrada analógica mayor, muestreándose a la frecuencia fs , en este caso las frecuencias laterales de una armónica se solapan sobre otras bandas laterales de otras armónicas.

El Aliasing es la diferencia entre la frecuencia de muestreo y la frecuencia que ingresa a ser digitalizada. Para evitarlo, cuando se desee muestrear a frecuencias inferiores a 44.100 Hz, se debería filtrar previamente la señal entrante, eliminando todos sus valores por encima de la mitad de la frecuencia de muestreo. Si se muestrea a 20.000 Hz (fs), se debe filtrar la señal original, eliminando todos sus componentes por encima de 10.000 Hz. Esto no siempre es posible si no se dispone del hardware adecuado, ya que la mayoría de tarjetas de sonido no permiten modificar el filtro de entrada. Para resolver este problema la solución es realizar todo el proceso por software, esto consiste en:

- Filtrar por software el sonido obtenido, a la mitad de la frecuencia deseada (10.000 Hz).
- Reconvertir por software el sonido a la frecuencia deseada (20.000 Hz)

Actualmente los CD tienen una frecuencia de muestreo de 44100 muestras por segundo (44.1 KHz), es decir que pueden reproducir señales de audio de hasta 22050 Hz. La radio digital emplea 32 KHz (o sea que reproduce hasta los 16000 Hz) para tener una calidad similar a la de un CD y el DVD emplea 96 KHz (frecuencias de hasta 48000 Hz).

1.5.1.2 Digitalización de audio basado en la modulación de pulsos codificados PCM

El sistema PCM es usado en muchos sistemas de digitalización de audio, se basa en el muestreo (estudiado anteriormente), cuantificación y codificación de la señal analógica.

El proceso consiste en muestrear la señal analógica, produciendo una señal denominada señal PAM¹⁶.

¹⁶ **PAM**: Modulación por amplitud de Pulsos

A cada muestra que se toma, se le asigna un valor que representará la amplitud de la muestra, esa asignación es la cuantificación. La operación se ilustra en la figura 1.7.

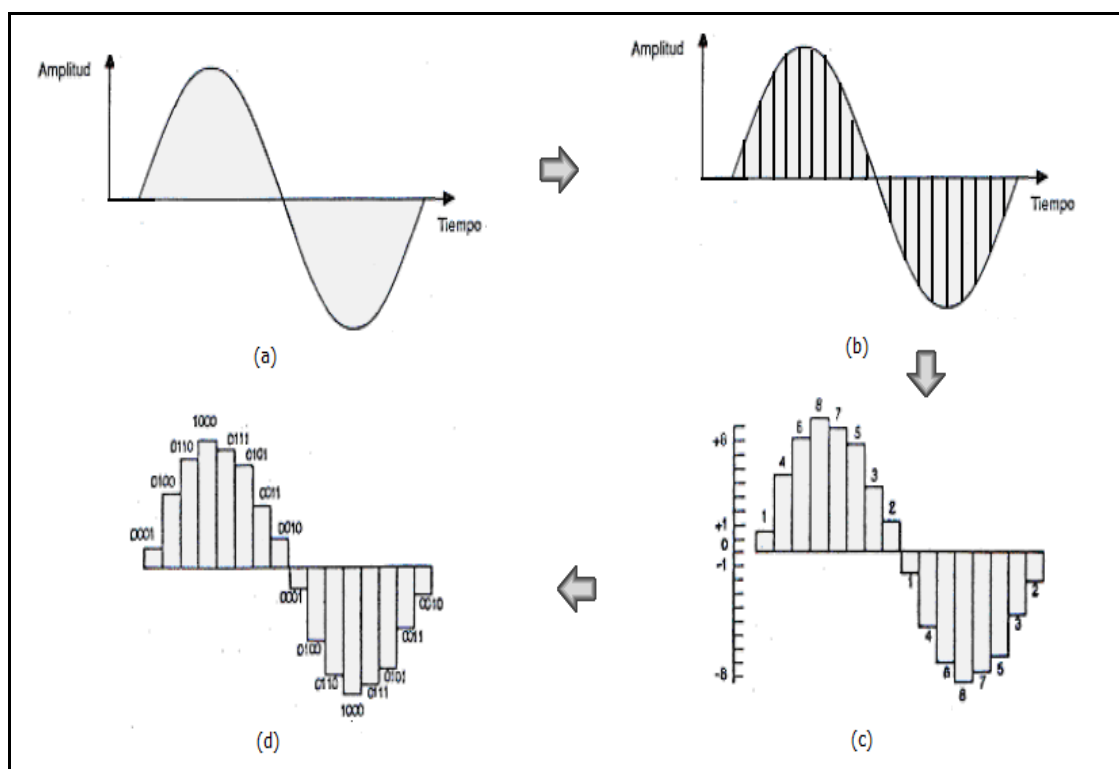


FIGURA 1.7 Proceso de Digitalización PCM: (a) Señal analógica; (b) Señal analógica muestreada; (c) Señal PAM cuantificada; (d) Señal PAM codificada.

Finalmente en el proceso de codificación se asignan bits para representar la amplitud de cada escalón. Para fines prácticos se usan técnicas de codificación no lineales, en estas técnicas los niveles de cuantificación no están separados igualmente.

El tamaño mínimo del escalón se llama resolución. Por tanto la Amplitud Total estará dividida en tantos “escalones” o valores como la resolución en Bits lo permita, de acuerdo a la fórmula:

$$2^n, \text{ donde } n \text{ es la cantidad de Bits.} \quad (1.2)$$

Por lo tanto, cuanto más Bits (Resolución en bits) se tenga, más valores intermedios se tendrán. Lo que hará que los “escalones” sean más pequeños y la onda digitalizada sea más parecida a la señal original.

Cuando se asigna un valor digital a la señal PAM, se modifica la amplitud de la señal original por lo que la señal no se recupera con exactitud, provocando así el llamado ruido de cuantización¹⁷, producido por el error de cuantización¹⁸. Por lo tanto, cuanto más resolución en Bits se tenga, menor será la amplitud de este tipo de ruido.

Se usan algunas resoluciones entre ellas están las de 8 Bits, 16 Bits, 24 Bits, 32 Bits. La resolución de 16 bits tiene un rango dinámico¹⁹ de 96 dB, y es el utilizado en el estándar del Compact Disc.

Dado que el umbral de dolor no se sitúa hasta alrededor de los 130 dB, sería deseable que un sistema de alta fidelidad pudiese alcanzar este rango dinámico. Para ello serían necesarios unos 22 bits de resolución. Pero el estándar adoptado es de 16 bits.

1.5.2 COMPRESIÓN DE AUDIO PARA TRANSMISIÓN DIGITAL

El formato del Compact Disc de Audio es el formato con frecuencia de muestreo de 44.1 Khz, 16 bits de cuantificación y en dos canales. Este formato ocupa mucho espacio, por lo que se implementaron sistemas de compresión de audio, entre estos se puede mencionar: MPEG-2 AAC, Musicam y PAC.

¹⁷ **Ruido de cuantización:** Es producido por el error de cuantización, por el cual, la señal percibida en el receptor es diferente a la original.

¹⁸ **Error de Cuantización:** Es la diferencia de la señal analógica que ingresa a un sistema y la señal digitalizada a la salida del sistema, ya que a un infinito número de valores analógicos, son representados por un escalón y este es representado por un solo valor en bits.

¹⁹ **Rango Dinámico:** Es un margen que hay entre el nivel máximo de la señal digitalizada y el ruido de cuantización medido en decibelios, que un sistema puede soportar sin generar distorsión, cuando se reproduce audio.

MPEG-2, Advanced Audio Coding (AAC), trabaja desde 8Kbps para canales monofónicos, hasta 160 Kbps por canal para alta calidad de almacenamiento de audio en estudios.

Musicam, el cual emplea MPEG-1 capa I, si bien ha sido suplantado por la norma MPEG-1 capa III (MP3), este último puede igualar a la calidad de un Compact Disc. Los archivos MP3 sólo requieren un programa de decodificación para poder ser reproducidos, por lo tanto son útilmente portátiles. Se puede comprimir en MP3 una señal de audio con calidad de CD y almacenarla con un formato de poca velocidad de transmisión siendo 128, 160 y 192 Kbps los más habituales. Esto hará un archivo MP3 muy pequeño, pero también con mucha menos calidad de sonido. El reducido tamaño y su aceptable calidad han favorecido su expansión como sistema de transmisión de música.

Otro sistema es el denominado, PAC²⁰. Este propone un algoritmo de compresión que puede ser almacenado o transmitido. Su principal característica es que este algoritmo remueve información extraña no perceptible por la mayoría de la gente, por lo que su velocidad máxima de transmisión puede ser alcanzada en incrementos de 16 Kbps.

1.5.3 MULTIPLEXACIÓN

En esta etapa de transmisión el elemento principal es el multiplexor. El multiplexor se encarga de que varios servicios y programas se pueden transmitir en un solo bloque. Entre los servicios que se pueden transmitir están los de audio y adicionalmente datos.

1.5.4 MODULACION

²⁰ **PAC:** Perceptual Audio Coder

La transmisión de señales de radiodifusión vía terrestre tiene algunos inconvenientes. El más significativo es la propagación multitrayecto.

1.5.4.1 Propagación multitrayecto

Este fenómeno es muy importante en zonas urbanas, en donde se tiene la existencia de arboles, coches, edificios, etc. Provocando una gran cantidad de señales reflejadas.

Si la señal que llega al receptor es la suma de la onda directa mas una serie de reflexiones producto de múltiples caminos, que puede recorrer la señal para llegar al punto de recepción. Cada una de las ondas reflejadas llega al receptor con una fase diferente, según el camino que haya recorrido. Las reflexiones pueden causar que las señales se refuercen o debiliten en el receptor, según la ubicación. Si las fases hacen que las señales se sumen destructivamente, el nivel de señal respecto al ruido disminuye.

Otro efecto importante de la propagación multitrayecto es la interferencia inter símbolo, la cual así mismo se origina por el retraso de las ondas reflejadas, que ingresan al receptor. Tal como muestra la figura 1.8, si se envía dos pulsos a una frecuencia dada entre una antena fija y una unidad móvil. En la unidad móvil se percibe los pulsos principales y además un conjunto de pulsos secundarios debidos a la reflexión de las ondas.

Un hecho muy frecuente que se produce en la transmisión de un canal de radiodifusión fijo o móvil, son los desvanecimientos o fadings selectivos en frecuencia.

El fading se refiere a que algunas componentes del espectro de la portadora modulada se atenúan más que otras. Esto es producido por la propagación multitrayecto, entre el rayo directo y los rayos que colisionan con diversos ángulos

tras recorrer otros trayectos de propagación, la cual produce una distorsión en frecuencia, en el receptor.

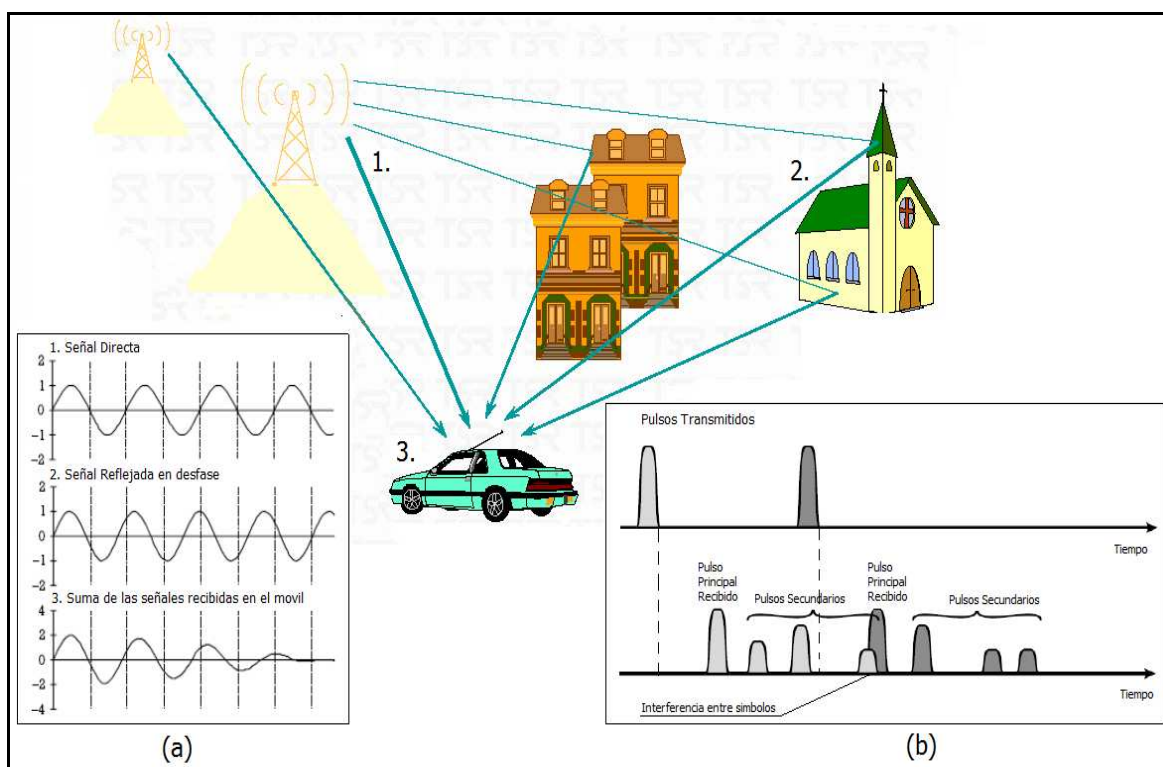


FIGURA 1.8 Efectos de la Propagación Multitrayectoria [25]: (a) Atenuación de la señal debido al desfase de la onda reflejada[39] (b) Interferencia Intersímbolo[39].

1.5.4.2 COFDM²¹

Para llevar a cabo las transmisiones de radiodifusión digital terrestre, hay que utilizar un tipo de transmisión robusta, para compensar los efectos del multitrayecto y permitir la introducción de nuevos servicios. Para esto se ha inventado la técnica Multiplexación por división de frecuencia ortogonal codificada o llamado COFDM.

²¹ **COFDM:** Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal Codificada

La modulación COFDM, es una técnica de banda ancha, para transmitir información a altas velocidades, la cual combina métodos de codificación mas entrelazado para corrección de errores. Además, emplea multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), la cual consiste en la utilización de un numero grande de portadoras equiespaciadas en frecuencia y moduladas cada una de ellas con los métodos QPSK²², 16-QAM²³ o 64-QAM²⁴.

Además del empleo de la multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), donde cada portadora es traslapada una con otra logrando así tener una alta eficiencia espectral.

Todas las portadoras ocupan el ancho de banda de un canal y cada una de las subportadoras forma un subcanal de manera que la suma de información de todos ellos es igual a la señal que se quiere transmitir.

En el caso que se quiera enviar una señal digital cuya velocidad sea de 10 Mbps, hay que utilizar un número muy grande de portadoras, por ejemplo 2000, moduladas en QPSK o QAM, de manera que la velocidad de cada una de ellas sea de 5Kbps, para que la velocidad de transmisión sea de:

$$2000 \text{ portadoras} \cdot \frac{5\text{Kbits}}{\text{segundos-portadora}} = 10\text{Mbps} \quad (1.3)$$

En la modulación COFDM, el principio de ortogonalidad indica que las portadoras tienen que estar separadas entre sí una distancia igual a la velocidad del símbolo (QPSK, QAM, etc.), para que no se produzcan interferencias entre las portadoras y se anulen entre sí, permitiendo que el espectro de cada una esté traslapado como

²² **QPSK:** Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura

²³ **16-QAM:** Modulación en Amplitud por Cuadratura con 16 constelaciones que representa la amplitud, la fase y el símbolo, en la modulación.

²⁴ **64-QAM:** Modulación de Amplitud por Cuadratura con 64 constelaciones

indica la Figura 1.9 (un pico de una señal se ubica en un cero de otra señal para la misma frecuencia).

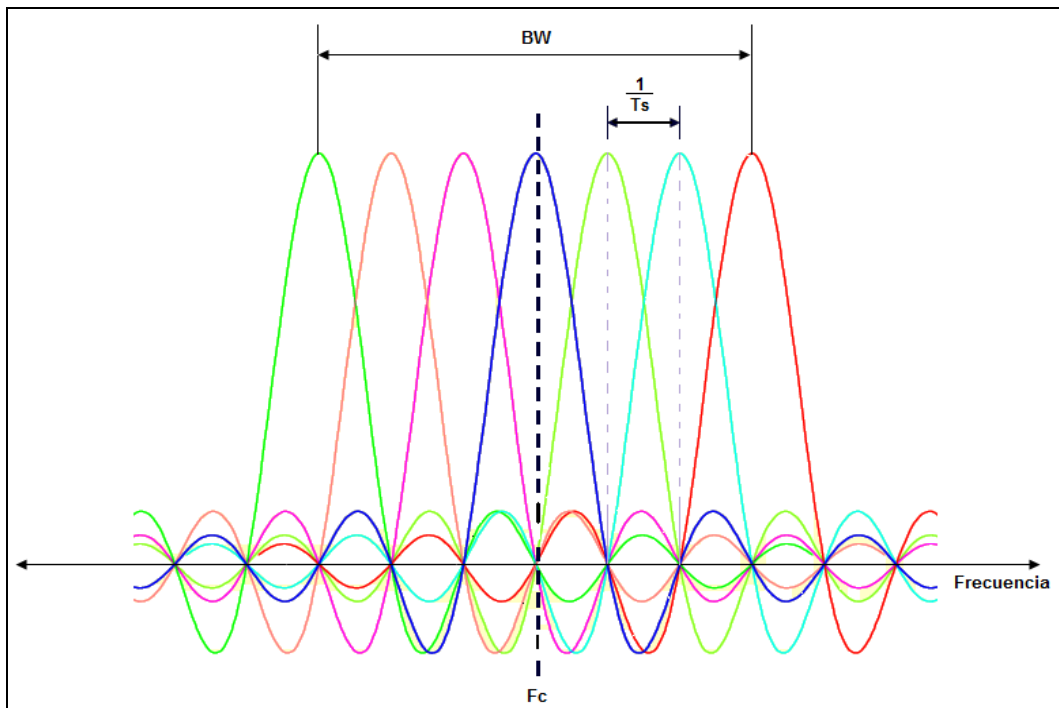


FIGURA 1.9 Portadoras COFDM.

Por tanto, la velocidad del símbolo que se utiliza en cada portadora solo depende de la distancia que hay entre ellas y en definitiva del número de portadoras que se empleen:

Si por ejemplo:

- B_w : ancho de banda del canal de transmisión
- N : Numero de portadoras.
- D : distancia entre portadoras = B_w/N
- V_s : Velocidad del símbolo en cada portadora = $D = B_w/N = 1/T_s$
- T_s : Duración de cada símbolo = $1/F_s = 1/V_s = N/B_w$
- V_{ts} : velocidad total de transmisión = $N \cdot V_s$

Cuanto mayor sea el número de portadoras, más pequeña será la distancia entre ellas y por tanto menor será la velocidad de símbolo y mayor la duración del mismo.

Si por ejemplo se emplean 2000 u 8000 portadoras en un canal de 8MHz se alcanzan valores de:

	N=2000	N=8000
D	4kHz	1Khz
Vs	4Ksimbolos/s	1Ksimbolo/s
Ts	0,25ms	1ms

TABLA 1.1 Valores de Distancia, Velocidad y Duración cuando se emplea diferente cantidad de portadoras [1].

En ambos casos, la velocidad total de transmisión de los símbolos:

$$V_{ts} = N \cdot V_s \quad (1.4)$$

$$V_{ts} = 2000 \cdot 4000 = 8000 \cdot 1000 = 8Msimbolos/s$$

O lo que es lo mismo:

- 16Mbps si las portadoras están moduladas en QPSK (2 bits por símbolo).
- 32Mbps si están moduladas en 16 QAM (4 bits por símbolo).
- 48Mbps si están moduladas en 64 QAM (6 bits por símbolo).

Cada símbolo de la modulación COFDM, está constituido por la suma de los N símbolos contenidos en las N portadoras durante un tiempo igual al tiempo de símbolo de cada portadora. La duración de un símbolo COFDM es igual a la duración de símbolo de cada portadora (T_s).

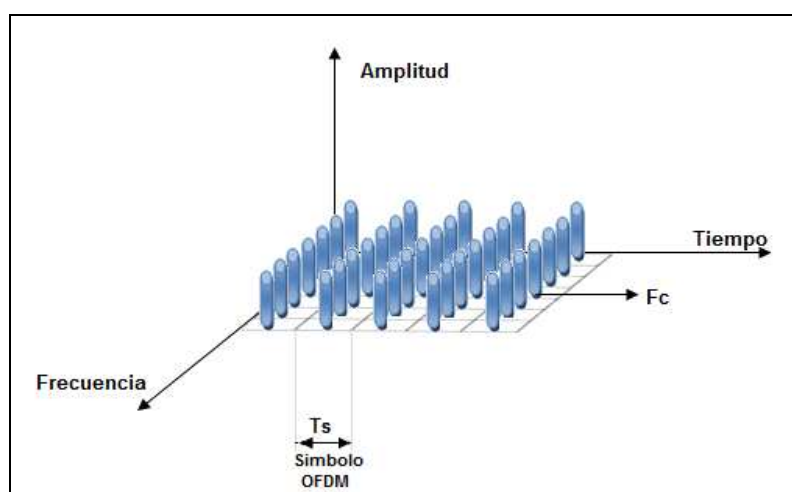


FIGURA 1.10 Transmisión de portadoras en un tiempo de símbolo (T_s).

Cuanto mayor sea el número de portadoras mayor será la duración de cada símbolo y por tanto, más inmune será el sistema a los desvanecimientos o fading. O dicho de otra manera, si un símbolo es destruido solo se pierde una pequeña parte de bits, que pueden ser recuperados mediante la utilización de un código.

Sin embargo esto no quiere decir que la información modulada en COFDM sea de banda angosta. Por el contrario, una señal modulada en COFDM es de banda ancha dado que utiliza una gran parte del espectro para poder transmitir la información dejando intervalos de guarda entre símbolos en el dominio del tiempo; lo que le permite ser inmune a la interferencia íter-símbolo, ya que las señales que llegan retrasadas no serán tenidas en cuenta por el receptor, ya que el intervalo de guarda es como un tiempo muerto para el receptor, y todo lo que llegue no afectará a la demodulación.

De este modo la duración completa de un símbolo COFDM es la suma de la duración útil de un símbolo (T_s) más la duración del intervalo de guarda (T_g).

La consecuencia más importante de esto, es que los transmisores situados dentro de una zona determinada del territorio, no tendrán que utilizar diferentes frecuencias

para transmitir el mismo programa, con tal de que el retardo entre cualquiera de las señales que emitan estos transmisores sea inferior al intervalo de guarda.

Esta característica da lugar a lo que se denomina Redes de Frecuencia Única (SFN)²⁵, que suponen una de las mayores ventajas, de la radiodifusión digital terrena.

Así mismo COFDM usa un codificador de canal compuesto, de dos elementos: un código convolucional y un barajador o entrelazador (por este motivo pasa a llamarse la modulación Coded-OFDM). Ya que si el nivel de ruido en el canal es suficientemente elevado, no va a ser posible recuperar la información transportada por las mismas, hecho que implicará la aparición de una ráfaga de errores en la decodificación como consecuencia de la pérdida de los símbolos que las modulan.

La intención pretendida al introducir un código convolucional es añadir cierta redundancia en los datos que se desean transmitir, redundancia que en recepción será empleada en la corrección de errores.

En el receptor esa corrección de errores tiene ciertas limitaciones pues si a la entrada del decodificador apareciese una secuencia larga de errores, este elemento no sería capaz de decodificar de una manera correcta. Para acortar la longitud de estas ráfagas de errores, y que sean abordables por el código convolucional, se añade en el transmisor un barajador.

El barajador trata de introducir un cierto desorden de manera que las portadoras adyacentes no sean moduladas por datos consecutivos, y no tener cadenas largas de datos iguales. Por tanto como indica la figura 1.11, si se produce una pérdida de información en las portadoras adyacentes debido a interferencia, no existirá

²⁵ SFN: Single Frequency Networks (Redes de Frecuencia Única)

problema debido a que existe redundancia, y los datos se pueden recuperar fielmente.

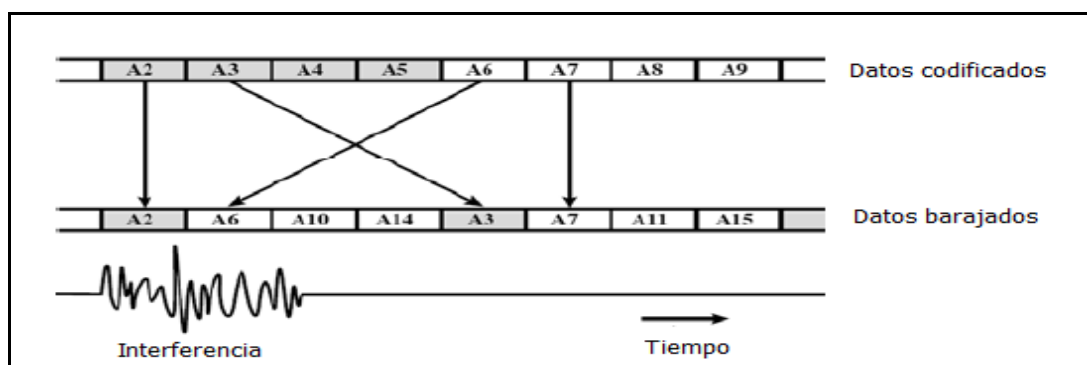


FIGURA 1.11 Efecto del codificador convolucional y el barajador con la interferencia [39].

Esto último hace que COFDM sea una modulación robusta en escenarios donde no hay línea de vista y que además se cuenta con muchos obstáculos en el camino (como es el caso de una ciudad densa con muchos edificios).

1.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA RADIO DIGITAL

Con la limitación en la transmisión analógica por cada canal de radiofrecuencia se dispone de un solo programa de radio. Además, si este programa se difunde nacionalmente, compartirá un gran número de canales de radiofrecuencia para evitar la interferencia co-canal en localidades próximas. Con tecnología digital el aprovechamiento del espectro radioeléctrico es óptimo, ya que permite emitir varios programas por un canal de radiofrecuencia, es decir, existe la posibilidad de aumentar la oferta de programas.

Las técnicas analógicas de transmisión tienen algunas desventajas con el distorsionamiento de la señal, donde esta se va degradando en cada una de las etapas por las que pasa. Con la Radiodifusión Digital se obtiene una mejor calidad en la información, ya que este sistema es más inmune a las interferencias, ruidos y ecos, por lo que la calidad es uniforme en toda el área de cobertura. La señal digital sufre menos degradaciones, ya que se utilizan métodos de corrección de errores

para corregir alteraciones en la señal que puedan afectar la información. De esta forma, la información digital es fácilmente transportable y almacenable con la utilización de menos espacio en la información, lo que significa una mejor calidad en la recepción tanto fija como móvil.

Otra de las ventajas en la Radiodifusión Digital es la flexibilidad en el uso del espectro radioeléctrico. La compresión digital de señales, permite transmitir a igual resolución con varios canales digitales en el mismo ancho de banda ocupado por un canal analógico. Además, la radiodifusión digital requiere de una menor separación entre los canales. Esto presenta una serie de ventajas respecto a la radiodifusión analógica en cuanto a número de programas vs calidad.

En resumen, las técnicas digitales mejoran la calidad de transmisión y recepción, con una mayor robustez en el sistema de transmisión aéreo. Receptores móviles y portátiles libres de interferencia en la recepción (múltiples vías (multipath), fading), es decir, resuelve los problemas de distorsión y cancelaciones que sufren las señales de FM analógica en móviles (vehículos en movimiento).

Permiten el desarrollo de nuevas técnicas de producción para ver, oír y navegar ofreciendo una mayor variedad de servicios que las técnicas analógicas, beneficiando tanto a radiodifusores como a oyentes. Este es el surgimiento de un nuevo vehículo, con nuevas funciones, nuevos lenguajes y nuevas aplicaciones. Dentro de estos servicios que ofrecerá la radio digital hay que mencionar: la mensajería, información de tráfico y navegación, información relacionada con los programas que se emitan, bancos de datos específicos (estadísticas, noticias temáticas, etc.), información meteorológica, títulos y letras de canciones, datos bursátiles, etc.

Como una de las desventajas principales de la Radio Digital que tiene que afrontar en el mundo de la radiodifusión, es el elevado precio que tienen los aparatos receptores tanto fijos como móviles por su poca oferta. Si no bajan los precios los

consumidores no se van a sentir tentados por un modelo nuevo de radio. El otro gran inconveniente de la radio digital es el no ser interactiva, como lo será la Radioweb que también llega al hogar.

CAPÍTULO 2

ESTÁNDARES DE TRANSMISIÓN TERRENA PARA RADIO DIGITAL

2.1. INTRODUCCIÓN

La Radio Digital aparece por dos razones de tipo tecnológico: la marcada tendencia global hacia la adopción de la tecnología digital en radiocomunicaciones como producto de la llamada convergencia digital. Desde la década de los 90, los dispositivos electrónicos de recepción y reproducción digital, incluyendo teléfonos celulares, se comunican entre sí, en entornos de redes mediante interfaces sencillas. Por esta razón ofrecen ventajas, antes inexistentes en los medios analógicos. La digitalización provee muchas ventajas notables para radiodifusores y difusores de informaciones tanto nacionales como internacionales. A partir de sistemas de adquisición, producción y reproducción digital, que comenzaron como simples cintas de audio digital hasta las infraestructuras de transmisión hoy existentes. La radiodifusión digital en onda corta, media u onda larga tiene muchas ventajas en comparación con los sistemas analógicos convencionales que se utilizan hoy.

Los estándares para la radio digital puede dividirse en dos grandes grupos según la plataforma de transmisión: Radio Digital Satelital y Radio Digital Terrena. Entre los sistemas de Radio Digital Terrena se encuentra el servicio de transmisión IBOC "In-Band On-Channel", en los Estados Unidos, y se basa en el estándar desarrollado por Ibisquity Digital Corp. para las bandas existentes en AM y FM. Un segundo estándar y de procedencia europea es DAB "Digital Audio Broadcasting", antes llamado Eureka 147, en las bandas VHF o L. Otro de los estándares importantes para Radio Digital Terrena es DRM "Digital Radio Mondiale" empleado para frecuencias inferiores a 30 Mhz. Por último se tiene el formato japonés ISDB "Integrated Services Digital Broadcasting", inaugurado en 2003, y se emplea tanto para servicios de radio como de televisión, mientras que Corea del Sur ha anunciado planes para desarrollar su

propia variante del estándar DAB, conocida como DMB “*Digital Multimedia Broadcasting*”.

2.2 ESTANDAR DAB (DIGITAL AUDIO BROADCASTING)

El sistema se generó a partir del proyecto Eureka 147²⁶, el cual desarrolló el sistema de radiodifusión de audio digital denominado DAB.

Digital Audio Broadcasting son las siglas del sistema de radio digital multiservicio de alta calidad que en un futuro permitirá ofrecer un servicio total en formato digital para la radiodifusión. No solamente se transmitirá audio digitalizado, también codificaciones de vídeo, gráficos, páginas HTML, datos, radiotexto, servicio de buscapersonas, etc. Mediante una pantalla gráfica se podrá visualizar toda esta información e incluso en combinación con otros sistemas podrá establecerse una interactividad en tiempo real.

Funciona tanto vía terrestre (T-DAB)²⁷ como vía satélite (S-DAB)²⁸ o por cable, el receptor detecta automáticamente el modo de funcionamiento.

El sistema encapsula toda la información en una trama denominada “*trama DAB*”, por lo cual se desarrolla un estudio general del sistema que genera dicha trama.

2.1.1 ESTRUCTURA DEL SISTEMA

El esquema general del sistema DAB se muestra en la figura 2.1 el cual indica los bloques funcionales del sistema, estos bloques cumplen con dos requerimientos

²⁶ Eureka 147: Es el nombre dado al equipo que desarrolló las especificaciones técnicas para DAB.

Los primeros miembros provenían de organizaciones europeas, hoy proceden de todo el mundo.

²⁷ T-DAB: Terrestrial - Digital Audio Broadcasting.

²⁸ S-DAB: Satellite - Digital Audio Broadcasting.

importantes, el empleo para recepción móvil y la posibilidad de ofrecer servicios multimedia.

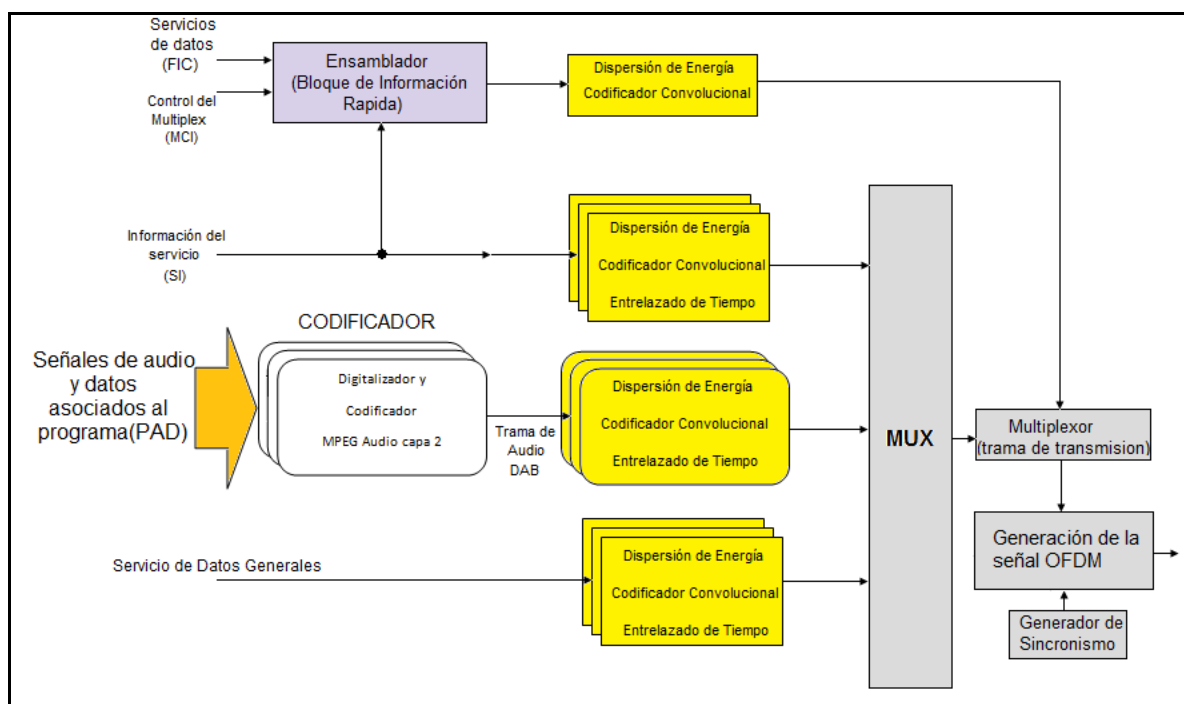


FIGURA 2.1 Esquema de un codificador DAB.

2.2.2 SEÑALES DE AUDIO Y DATOS ASOCIADOS AL PROGRAMA (PAD)

Corresponde a varias señales de audio con su respectivo PAD, que ingresan a un bloque denominado codificador.

En el codificador se digitaliza y codifica las señales de audio que ingresan al sistema desde los centros de producción, como voz, música, etc. Así mismo se agregan los datos de prestaciones de servicios adicionales y finalmente se genera la trama de Audio DAB la cual pasa a ser procesada en el siguiente nivel.

2.2.2.1 Codificador de Fuente

El proceso de codificación de la señal fuente se puede dividir a su vez en dos bloques, los cuales son la digitalización y la codificación.

2.2.2.1.1 Digitalizador

Este bloque se encarga de digitalizar las señales analógicas, utilizando una frecuencia de muestreo de 48KHz, con una resolución de 22 bits en cada muestra.

2.2.2.1.2 Codificación

Este bloque realiza la función de compresión de la señal. El tipo de compresión que se realice en este sistema, está adaptada a las características físicas del oído humano, las cuales se pueden resumir en las siguientes:

Umbral de audición del oído humano: El cual está limitado y tiene un punto en donde no se puede escuchar nada. Esto permite que se puedan eliminar las señales que no tengan una amplitud determinada.

Enmascaramiento: Cuando el oído humano recibe una intensidad sonora muy alta, todas las señales que tienen un nivel más pequeño se pueden eliminar y con esto se reduce la cantidad de información.

Linealidad: El oído humano no se comporta en forma lineal, de tal forma que la cantidad de información es diferente dependiendo de la frecuencia de sonido.

Estas características reducen la información en siete veces, cuando se está digitalizando el sonido.

En la figura 2.2 se puede observar un esquema del codificador MPEG que se usa en el sistema DAB. En él se puede observar la inserción de los datos asociados al programa (PAD), para generar finalmente la trama de audio DAB.

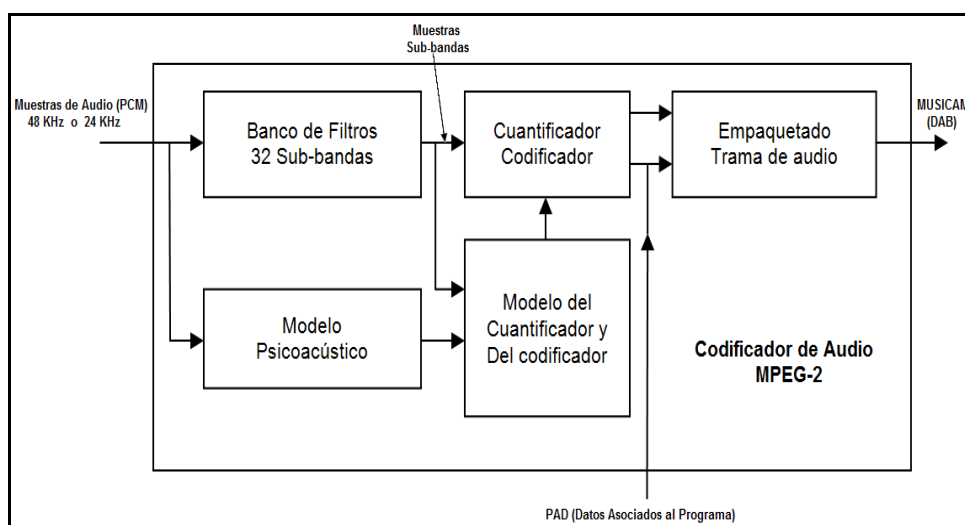


FIGURA 2.2 Esquema de un codificador DAB [1].

DAB utiliza una técnica de compresión de audio, denominada MPEG Audio Capa 2²⁹, (MPEG-1 capa 2, también conocido como MUSICAM³⁰), este proceso basa su funcionamiento en la descompresión del espectro audible en 32 sub-bandas equiespaciadas, a las cuales se asigna de forma dinámica los bits de cuantificación según el modelo acústico del oído.

Basándose en el estándar ISO/IEC 11172-3³¹, la velocidad de transmisión de datos para el audio una vez codificado depende de si la transmisión de datos para el audio

²⁹Técnica suplantada por la norma MPEG-2.

³⁰MUSICAM: Masking Pattern Universal Sub-band Integrated Coding And Multiplexing. Es la codificación de audio propuesta por el grupo MPEG, (MPEG-1).

³¹ISO/IEC 11172-3: ISO (International Standards Organization) y la IEC (International Electrotechnical Comisión). El objetivo principal de este grupo es desarrollar estándares generales para la representación codificada de videos, audio y la interacción entre ambos. La norma denominada MPEG-1 describe 3 niveles o capas, siendo el segundo para DAB, la cual describe un sistema de dos canales con varios modos (mono, estéreo) y varias capacidades binarias.

una vez codificado es monofónica o estereofónica y de si se emplean 48 KHz (MPEG-1) o 24 KHz (MPEG -2) de frecuencia de muestreo.

En el caso de usar una frecuencia de muestreo de 48 KHz, la velocidad de los datos para sonido estéreo, oscila entre 32 y 192 Kbps y en el caso de emplear una frecuencia de muestreo de 24 KHz la velocidad de los datos puede variar entre 8 y 160 Kbps.

2.2.2.2 Trama de Audio DAB

El codificador MPEG en su proceso divide la señal de audio en tramas. La trama se envía cada 24 ms y está compuesta por las muestras PCM de audio procesadas y los datos asociados al programa (PAD). Además, se incluye corrección de errores y los datos necesarios para su decodificación.

2.2.2.2.1 Datos asociados al Programa (PAD)

Es información que está estrechamente relacionada con el programa de audio, puede tratarse de la letra de las canciones, títulos, autores, etc.

2.2.3 SERVICIO DE DATOS GENERALES

Son servicios que pueden no estar relacionados con la transmisión de programas radiofónicos. Algunos ejemplos de servicios pueden ser la distribución de periódicos electrónicos, la transmisión de páginas Web o la transmisión de imágenes estáticas como mapas meteorológicos o mapas de tráfico. Estos datos pueden ser cursados al multiplexor en modo paquete o modo de ráfaga.

2.2.3.1 Modo Paquete

En este modo los datos son divididos en paquetes, los datos más comunes transportados en este modo son la transferencia de objetos multimedia, el canal de mensajes de tráfico y sistema de alerta de emergencia.

2.2.3.2 Modo Ráfaga

En este modo se envían los datos continuamente, un ejemplo de esto es la transmisión de datos GPS que son usados para localización geográfica de alta precisión.

2.2.4 DATOS PARA SELECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

El usuario mediante un receptor puede seleccionar programas basándose en la información textual incorporada en la información de servicio (SI), utilizando el nombre de servicio del programa, la identidad del tipo de programa o el idioma. La selección se realiza en el receptor utilizando los elementos correspondientes a la información de control (MCI).

2.2.4.1 Información de control de Multiplex (MCI)

Describe como está organizado el multiplex MSC de la trama DAB. En él, se difunden los datos de control necesarios para que el receptor pueda demultiplexar los servicios de radiodifusión.

2.2.4.2 Información de Servicio (SI)

Describe la información de los diferentes contenidos emitidos, que se muestran en el receptor, como son nombre del programa, hora y fecha, idioma, tipo de programa (noticias, deportes, música, etc.). Además establece vínculos con las transmisiones FM o AM.

2.2.5 SERVICIO DE DATOS FIC

Son servicios similares a los servicios de datos generales, como son el canal de mensajes de tráfico y sistema de alerta de emergencia. Estos servicios son datos encapsulados en un canal denominado FIC (canal de información rápida), que se encuentra en la trama DAB.

2.2.6 PROCESADO DE LA SEÑAL

Antes que toda la información ingrese al MUX, los servicios de audio digital y servicios de datos, se someten a dispersión de energía, codificación convolucional y entrelazado temporal para protección contra errores. Los datos para selección de información y los servicios de datos FIC, son ensamblados y solo pasan por dos procesos que son dispersión de energía y codificador convolucional.

2.2.6.1 Dispersión de Energía

La misión de este proceso es asegurarse que la energía de la señal se distribuya uniformemente y mantenga un nivel medio constante. Así la energía se distribuye de manera uniforme en el espectro.

2.2.6.2 Codificación Convolucional

Los datos que salen del bloque de dispersión de energía ingresan al codificador convolucional. La misión de este bloque es generar un código redundante que sirva para poder corregir los errores que aparecen en la recepción por efecto de la propagación de la señal.

2.2.6.3 Entrelazado de Tiempo

El entrelazado o barajado de tiempo mejora la seguridad de la transmisión de datos en un entorno cambiante (por ejemplo, la recepción en un receptor a bordo de un vehículo en movimiento). En este entrelazado los bits que salen del codificador convolucional son separados y desordenados en el tiempo de forma que no se transmitan consecutivamente.

2.2.6.4 Multiplexación (MUX)

Los flujos de bits (servicios y audio) entrelazados y codificados se aplican al multiplexor de servicio principal (MUX). Cada flujo de bits que ingresa al multiplexor

es una trama lógica (CIF³²). La unión de CIFs, se denomina canal de servicio principal (MSC³³), el número de CIFs en el MSC varía de 1 a 4 de acuerdo al modo. Cada CIF tiene 55,296 bits, que se envían cada 24 ms.

2.2.6.5 Ensamblador (Bloque de Información Rápida)

En este bloque se ensamblan los datos para la selección de la información (información de control de trama e información de servicios) con los servicios de datos FIC, por consiguiente son procesados con dispersión de energía y codificación convolucional.

2.2.7 MULTIPLEXOR (TRAMA DE TRANSMISIÓN)

Este bloque une, las tramas lógicas (CIFs) que salen del MUX, con los datos del bloque de información rápida.

2.2.8 MODULACIÓN EN EL SISTEMA DAB

La modulación que se usa en el sistema DAB es la modulación COFDM. Como se señaló en el capítulo 1, la característica importante de este tipo de modulación, es que tiene una gran protección contra el desvanecimiento provocado por la Multitrayectoria de la señal y permite la creación de redes de frecuencia única, lo cual posibilita que se pueda escuchar una emisora de radio por ejemplo, en todo el país sin necesidad de resintonizar el receptor cuando va de un lado a otro.

2.2.8.1 Generación de símbolos Q-PSK

³²CIF: (Common Interleaved Frame) Trama de entrelazado común, la cual está compuesta de subcanales que llevan las tramas de audio y los servicios de datos.

³³ MSC: (Main Service Channel) Canal de servicio principal.

Tras este multiplexado, en primer lugar se divide la trama para asignar un símbolo a cada división, por consiguiente se lleva la trama a un mapeado de símbolos Q-PSK.

El mapeado consiste en asignar un número complejo³⁴ de la constelación Q-PSK, a los datos que ingresan al modulador. Estos números complejos corresponden a una representación en el dominio de la frecuencia. Por consiguiente mediante una transformada discreta inversa de Fourier, se genera la señal OFDM en el dominio del tiempo.

2.2.8.2 Entrelazado en frecuencia

El siguiente paso consiste en realizar un entrelazado de las portadoras, en un símbolo, para proteger al sistema contra los desvanecimientos selectivos.

2.2.8.3 Modulación QPSK

Como se señaló en el capítulo 1, la modulación COFDM, multiplexa varias señales moduladas con la técnica QPSK, es decir modula varias señales moduladas.

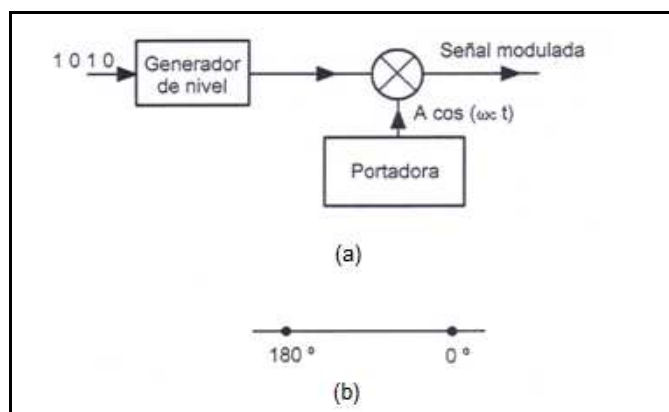


FIGURA 2.3 Modulación BPSK [1]: (a) Modulador (b) Diagrama de constelación.

³⁴ Cada punto de la constelación QPSK, tiene asignado un número complejo, en el dominio de la frecuencia.

Una modulación QPSK se obtiene sumando dos modulaciones BPSK en cuadratura. BPSK, (figura 2.3), se obtiene con dos símbolos (0 y 1), y la portadora adoptará únicamente dos fases diferentes (0° y 180°).

Por otro lado en QPSK emplea dos portadoras que se encuentran en cuadratura (figura 2.4), la fase de la portadora se determina por dos bits (tabla 2.1). Por lo tanto el número de símbolos será:

$$2^2 = 4 \text{ símbolos} \quad (2.1)$$

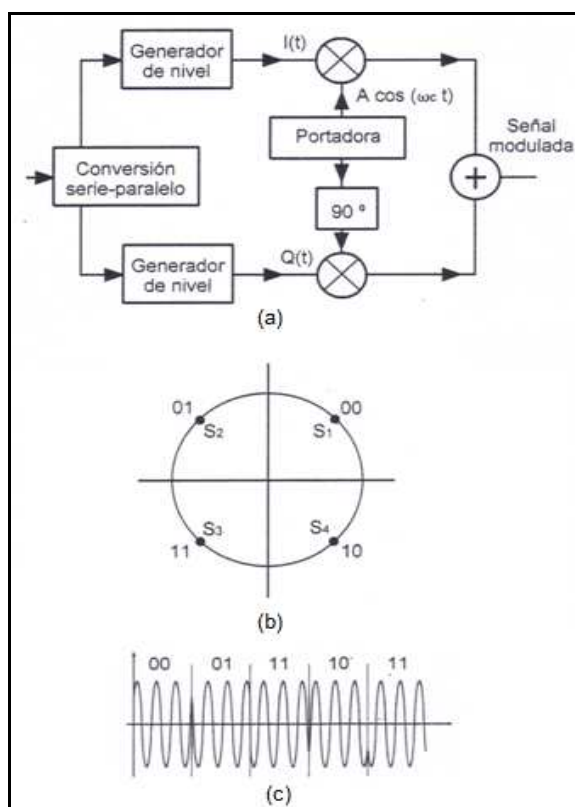


FIGURA 2.4 Modulación QPSK [1]: (a) Modulador (b) Diagrama de Constelación (c) Representación en el tiempo de una señal QPSK.

Este tipo de modulación es de amplitud constante, ya que la información que se desea transmitir va incluida en la fase de la portadora. Esto produce que este tipo de modulación presente un alto grado de robustez frente a las interferencias y al ruido.

Bits o Símbolo	Fase de la señal
00	45°
01	135°
10	225°
11	315°

TABLA 2.1 Asignación de Símbolos para la modulación QPSK [1].

Si se aumenta el número de símbolos, que se transmiten se hablará de una modulación 16-QPSK, en este caso se tienen 4 bits por símbolo.

Al aumentar el número de símbolos aumenta la eficiencia espectral, pero también aumenta la probabilidad de error de bit o símbolo, cosa no aconsejable. El número de símbolos que se deben transmitir dependerá del tipo de canal de transmisión que se use. Si es un canal muy ruidoso y con muchas interferencias es mejor usar una modulación con baja eficiencia espectral, pero que sea segura y no tenga bits errados. Este tipo de transmisión se usa en transmisiones vía satélite, ya que se encuentran muy afectas por las limitaciones de potencia de los satélites.

La modulación QPSK es una modulación coherente, esto quiere decir que en el demodulador se debe tener una señal de referencia exacta a la portadora, coherente con una de las fases.

Por la razón anterior, el sistema DAB usa modulación DQPSK³⁵. Este tipo de modulación no necesita una señal de referencia para la demodulación, factor que facilita el diseño del receptor. DQPSK combina una codificación diferencial con modulación QPSK. La codificación diferencial genera un cambio de fase de la portadora por cada dos bits transmitidos; este cambio de fase se puede apreciar en

³⁵ DQPSK: Differential Quadrature Phase Shift Keying

la tabla 2.2. Por otra parte en recepción, los símbolos o información se recuperan comparando la fase actual y la fase anterior.

Bits o símbolo	Fase de la señal
00	0°
01	90°
10	180°
11	270°

TABLA 2.2 Asignación de Símbolos para la modulación DQPSK [1].

2.2.9 TRAMA DAB

La trama DAB es la unión de las señales que salen del multiplexor (trama de transmisión) y la información de sincronismo.

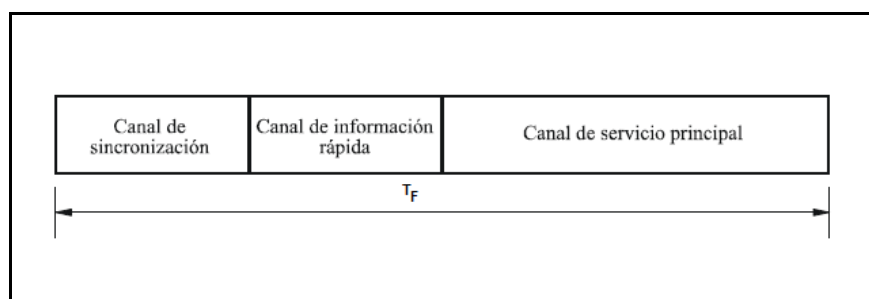


FIGURA 2.5 Trama DAB [9].

La trama consta de los siguientes campos que se enuncian a continuación. La duración total de la trama, T_F , es de 96 ms, 48 ms o 24 ms, dependiendo del modo de transmisión.

2.2.9.1 Sincronización

Este campo es generado en el bloque de sincronismo. En este bloque se genera la información para la demodulación en el receptor e identificación del transmisor.

2.2.9.2 Información Rápida de Canal (FIC)

Este campo contiene la información de servicio para el receptor, es decir, información de la composición del multiplex (MSC), mensajes de tráfico, etc.

2.2.9.3 Canal de Servicio Principal (MSC)

Este canal contiene CIFs que varían de 1 a 4 dependiendo del modo, la capacidad neta del MSC es de 2.304 Mbps. Para modo II, por ejemplo un CIF ocupa todo el MSC, por lo que proporcionan una capacidad bruta de 2.304 Mbps y una capacidad neta que varía desde 0,6 a 1.7 Mbps (Esto se obtiene quitando los datos FIC y los bits de redundancia que genera el código convolucional).

2.2.10 NÚMERO DE PROGRAMAS TRANSMITIDOS

En Europa los canales del espectro radioeléctrico, son divididos en bloques, los cuales llevan un cierto número de programas. Dependiendo del sistema de codificación de las muestras, es decir del tipo de señal y la calidad requerida (mono o estéreo), un bloque DAB permite tener los siguientes números de programas.

PROTECCIÓN CONTRA ERRORES PROMEDIO	Velocidad por programa				
	64 Kbps	128 Kbps	192 Kbps	224 Kbps	256 Kbps
0,5	18	9	6	5	4
0,6	20	10	7	6	5

TABLA 2.3 Número de programas por canal según la protección contra errores[2].

En la tabla 2.3 se puede observar el número de programas por canal que se puede transmitir. El número de programas está influenciado por el código convolucional, es

decir, el sistema de protección contra errores FEC³⁶, que se hace a cada uno de los servicios de audio o datos. La función del codificador convolucional es la de generar más bits de los que ingresan a este codificador, teniendo así redundancia contra posibles errores que serán corregidos en el receptor; así se tiene una tasa de 0,6 u 6/10, lo cual quiere decir que ingresan 6 bit y salen 10 bits, con 4 bit de redundancia.

Dependiendo del grado de protección contra errores, se incluirá más o menos información redundante, y eso repercutirá en el número máximo de programas que se podrán enviar por cada canal.

Para una protección contra errores de 0,6. Si se desea transmitir 20 programas, la velocidad equivale a 64 Kbps, pero si se desea transmitir menos programas, la velocidad de cada programa debe aumentar, debido a que cada programa tiene un mayor ancho de banda.

2.2.11 MODOS DE TRANSMISIÓN EN EL SISTEMA DAB

En Europa, un canal de 7MHz (Figura 2.6) es dividido en cuatro bloques, A B C D. Dependiendo del modo cada bloque lleva un cierto número de programas. Si por ejemplo se usa el modo II, cada bloque en el campo MSC, podría llevar 6 servicios o programas, dependiendo de los datos transportados y el nivel de protección que exista.

Por lo tanto cada bloque tiene un ancho de banda de 1.75MHz. Si se agrega un espacio entre canales adyacentes, el ancho de banda del bloque sería aproximadamente de 1.536 MHz, el cual corresponde al ancho de banda de la señal COFDM.

³⁶ FEC: Forward Error Correction: Corrección de errores que se realiza en el receptor.

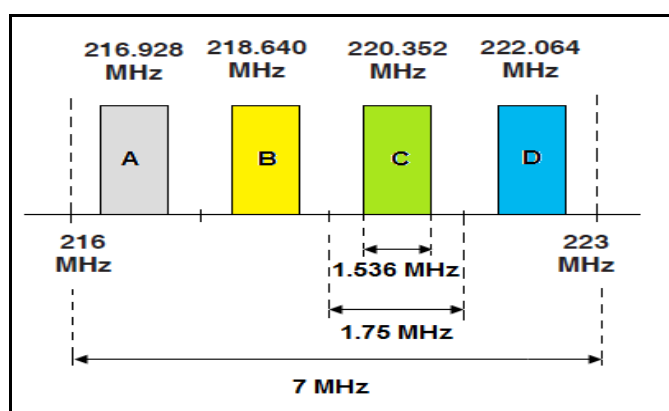


FIGURA 2.6 Asignación de bloques para el canal 11.

En el proyecto Eureka 147 se ha definido un ancho de banda de aproximadamente 1.5 MHz y se han establecido varios modos de transmisión en función de las bandas de frecuencia que se usa en la transmisión, estos modos se establecieron a fin de compensar la dispersión Doppler y la dispersión por retardo, para la recepción móvil en presencia de ecos debidos a propagación por trayectos múltiples. En la siguiente tabla se muestra un resumen de las principales características de este sistema.

Modos de Trabajo	MODO I	MODO II	MODO III	MODO IV
Tiempo de duración de la Trama (T_F)	96 ms	24 ms	24 ms	48ms
Ancho de Banda	1,536 MHz	1,536 MHz	1,536 MHz	1,536 MHz
Numero de Portadoras por símbolo	1536	384	192	786
Intervalo Total de Modulación (Duración del Símbolo $T_S=T_G+T_U$)	1,246 ms	0,312 ms	0,156 ms	0,623 ms
Intervalo de Guarda T_G	0,246 ms	0,062 ms	0,031 ms	0,123 ms
Intervalo Útil dentro de un símbolo (T_U)	1ms	0,250 ms	0,125 ms	0,5 ms
Tipo de Modulación	D-QPSK	D-QPSK	D-QPSK	D-QPSK
Rango de Frecuencias	< 300 MHz (VHF)	< 1.5 MHz (Banda L)	< 3 GHz (Banda L)	< 1.5 MHz (Banda L)
Enlace	Terrestre	Terrestre - Satelital	Terrestre	Terrestre - Satelital
Distancia entre transmisores para redes de frecuencia única	60 Km	20 Km	10 Km	30 Km

TABLA 2.4 Características del Sistema DAB [1], [9].

2.2.11.1 Modo I

Este modo se establece para transmisiones por debajo de los 300 MHz. Es el más apropiado para redes de frecuencia única y por tanto para implementar servicios de radio sonora de ámbito nacional. Este modo permite la separación máxima entre transmisores, a una distancia de hasta 60 Km.

2.2.11.2 Modo II

El Modo II se emplea para redes SFN en banda L o para redes híbridas de satélite y terrestres. Este modo es adecuado para servicios locales y regionales.

2.2.11.3 Modo III

Este modo se ha definido para transmisiones de radiodifusión sonora digital por satélite para frecuencias que están por debajo de 3 GHz. Este modo es adecuado para servicios que exceden al país, así como para coberturas que abarcan todo el territorio nacional.

2.2.11.4 Modo IV

Este modo es añadido con posterioridad para establecer redes SFN en banda L que permitieran mayor separación entre transmisores.

2.2.12 ESPECTRO DEL SISTEMA DAB

En la figura 2.7, se puede apreciar un ejemplo ideal del espectro de salida para cada uno de los modos en el sistema DAB. El espectro depende del modo de transmisión que se ha escogido.

En todos los modos el ancho de banda del espectro es 1,536 MHz, el cual presenta planicidad.

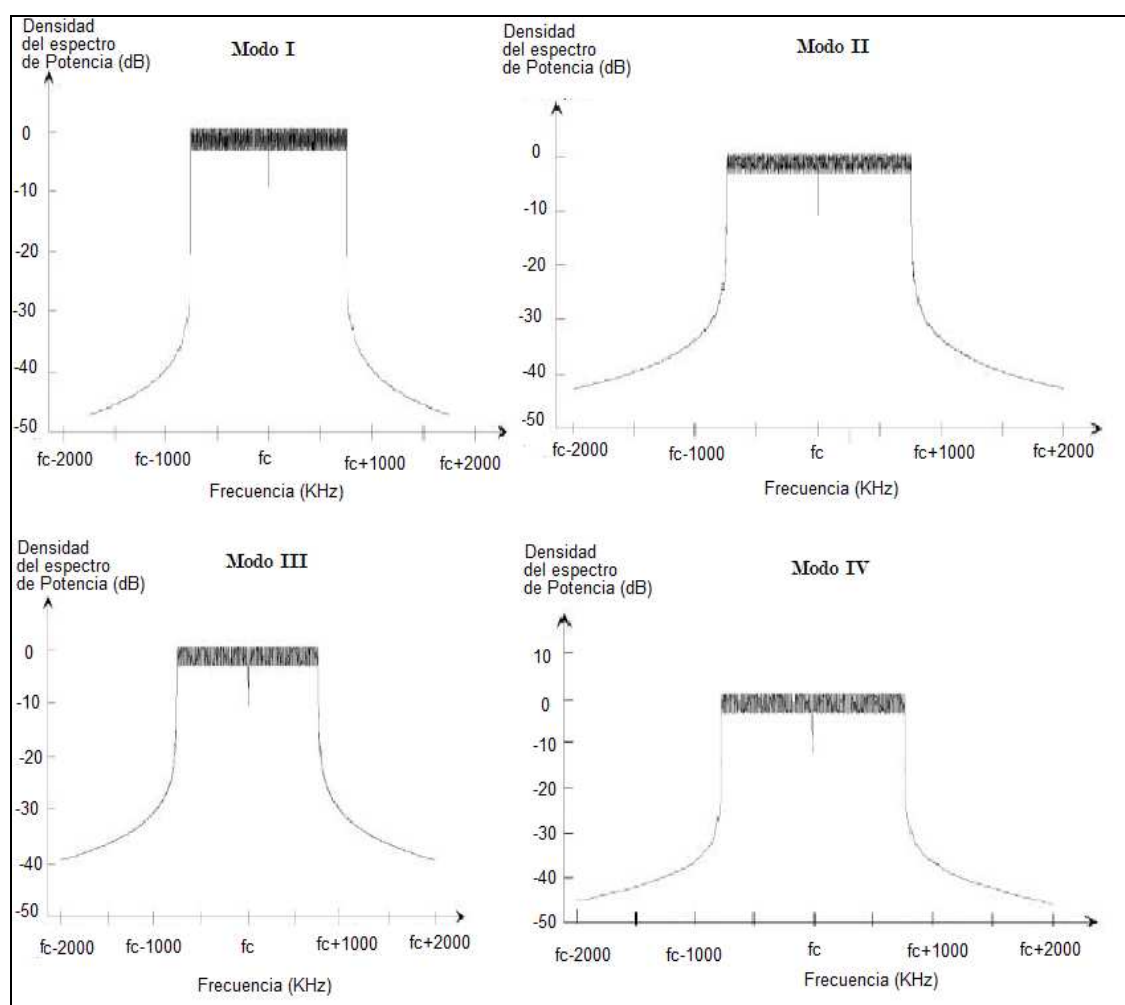


FIGURA 2.7 Espectro Teórico del sistema DAB en cada uno de sus modos [9].

2.2.13 APLICACIONES DEL SISTEMA DAB

Los servicios que soporta el sistema DAB, a más del audio y que se encuentran dentro de la trama DAB, son:

Servicios de tráfico y navegación, mensajes de previsión de tiempo, anuncios, entretenimientos, información de periódicos, etc. También se puede implementar servicios multimedia e interactivos, pudiéndose establecer el canal de retorno a través de un teléfono móvil GSM.

Otros servicios que se pueden establecer en el receptor DAB, son los pseudointeractivos, estos servicios se van cargando en el receptor para que el usuario lo pueda consultar cuando crea conveniente.

Para implementar todos estos servicios, los receptores tienen que tener una pantalla de presentación (display) o un servicio de voz sintetizada en el caso de receptores para automóviles.

2.3 ESTANDAR IBOC (In-Band On-Channel)

HD Radio, estándar también conocido como IBOC "In-Band On-Channel". La NRSC "National Radio Systems Committee", organización normalizadora patrocinada por la National Association of Broadcasters y la Consumer Electronics Association, adopta esta norma para la radiodifusión de funcionamiento en la banda y en el mismo canal, basada en el sistema desarrollado por iBiquity Digital Corporation y denominada NRSC-5.

HD Radio es un estándar de la empresa Ibiquty Digital Corporation y el único sistema digital de radiodifusión terrestre sonora autorizado en los Estados Unidos. A diferencia de DAB y DRM, iniciativas de radios públicas europeas, HD fue una iniciativa de las radios privadas norteamericanas. También es una tecnología que usa el sistema simulcast esto quiere decir que permite a las Radioemisoras de AM y FM transmitir sus programas en forma analógica y digital simultáneamente en la misma posición del "dial" sin que se originen interferencias entre ellas, esto para facilitar una migración gradual de los sistemas de radiodifusión sonora analógicos a los sistemas digitales. La señal analógica es recibida por los antiguos receptores analógicos y la señal digital por los modernos receptores digitales, significando una enorme mejora comparado con las emisiones analógicas actuales. Las transmisiones digitales ofrecen al radioescucha una mejora radical tanto en la calidad del audio como en la recepción de la señal, además de nuevos servicios en la transmisión de datos.

El sistema HD Radio introduce la señal digital en la banda AM o FM existente, eliminando así la necesidad de nuevas atribuciones de frecuencias. Cualquier interrupción debida a la transición al sistema digital se reduce a un mínimo tanto para los radiodifusores como para los consumidores, al usarse la infraestructura y espectro existentes, preservando al mismo tiempo el servicio analógico existente durante tanto tiempo como sea necesario. Esto significa que los oyentes pueden seguir escuchando las estaciones AM/FM locales en las radios analógicas existentes así como en los nuevos receptores de HD Radio, con todos los servicios y ventajas adicionales que ofrece el sistema.

El diagrama funcional del sistema IBOC es el mostrado en figura 2.8. En él se puede observar algunos de los subsistemas que se enuncian a continuación.

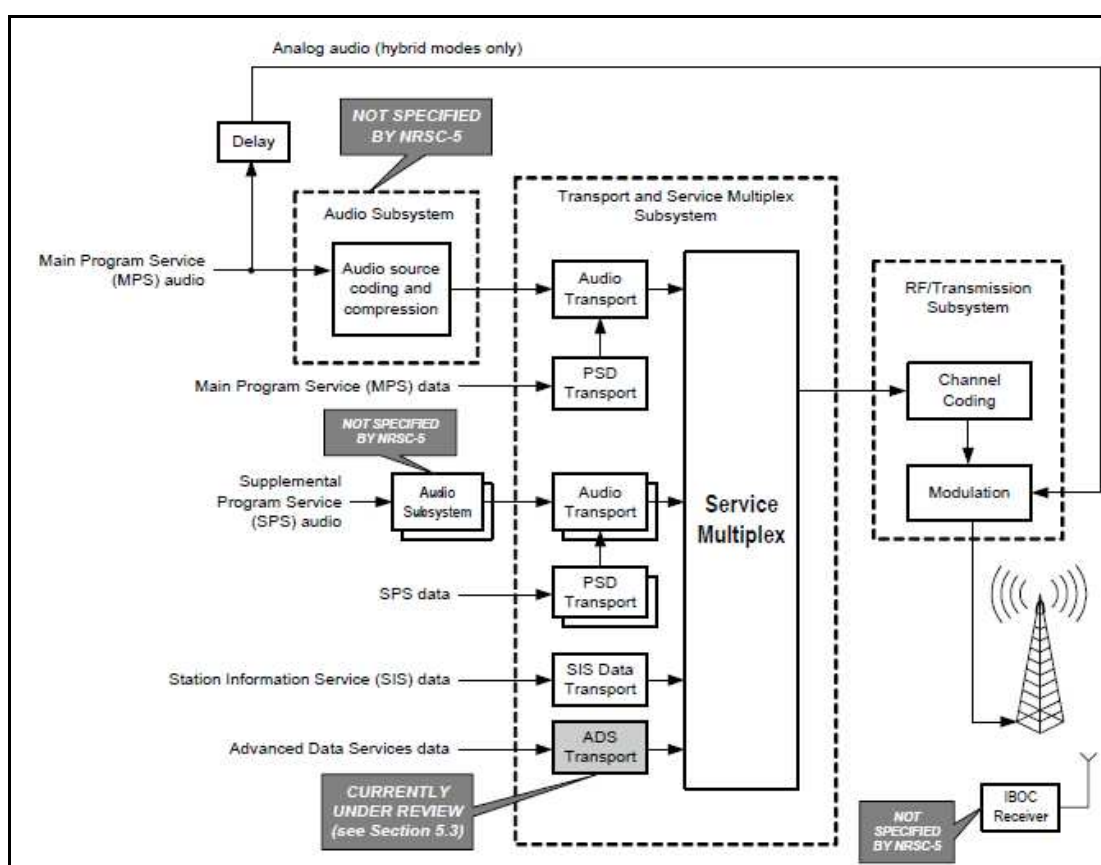


FIGURA 2.8 Sistema de Radio Digital IBOC [8].

2.3.1 SUBSISTEMA DE ENTRADA DE AUDIO Y DATOS

Este subsistema consta de las respectivas entradas para servicios de audio, datos, servicios de programa y otros tipos de datos, los cuales permiten ofrecer al sistema IBOC, múltiples servicios.

2.3.1.1 Códec (Codificador y compresor de la fuente de audio)

El sistema IBOC utiliza el códec AAC³⁷ complementado por la SBR³⁸, con lo que se obtiene audio estereofónico similar a FM de alta calidad dentro de las restricciones de anchura de banda impuestas en el funcionamiento por debajo de los 30 MHz.

El sistema IBOC puede utilizar dos tipos de códec:

2.3.1.1.1 AAC + SBR

La señal de audio se muestrea con una frecuencia de 24 KHz, el códec AAC codifica el espectro de audio hasta 6 KHz y posteriormente mediante técnicas SBR se reconstruye la banda hasta los 15 KHz (ver Figura 2.9).

Mediante la técnica de replicación de banda espectral (SBR) se transmiten y reconstruyen los sonidos situados en la banda superior del audio, que son generalmente:

- **Del tipo ruido** (instrumentos de percusión, silbidos, etc.).

³⁷ **AAC (Advanced Audio Coding):** Codificación de Audio Avanzado AAC se basa en el modelo psicoacústico (propiedades de enmascaramiento del oído humano), a fin de reducir la cantidad de datos requeridos para representar la señal de audio digital.

³⁸ **SBR (Spectral Band Replication):** Técnica de repetición de banda espectral que se trata de una herramienta que aumenta el poder de un códec, permitiendo mayor calidad de audio con velocidades de datos bajos.

- **Periódicos** y relacionados con los que aparecen en la parte baja del espectro (armónicos de instrumentos y sonidos vocales).

El resultado da lugar a una velocidad binaria de aproximadamente 20 Kbps (núcleo). Los 16 Kbps correspondientes al códec mejorado permiten una calidad adicional del audio y la emisión estereofónica.

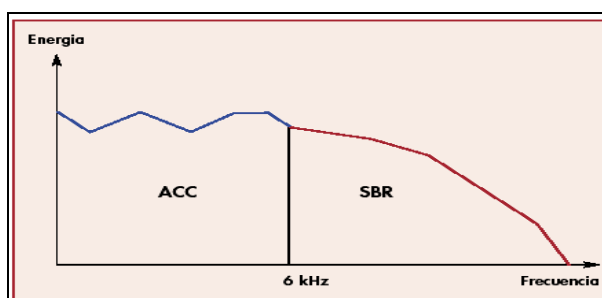


FIGURA 2.9 Reconstrucción del canal de audio [16].

SBR es principalmente una función que opera en el receptor, aunque hay un cierto nivel de pre-procesamiento en el codificador para guiar el proceso de decodificación (ver Figura 2.10). Dentro del SBR, el codificador solamente se responsabiliza para transmitir la parte del espectro inferior de audio, para ser codificado en la etapa AAC.

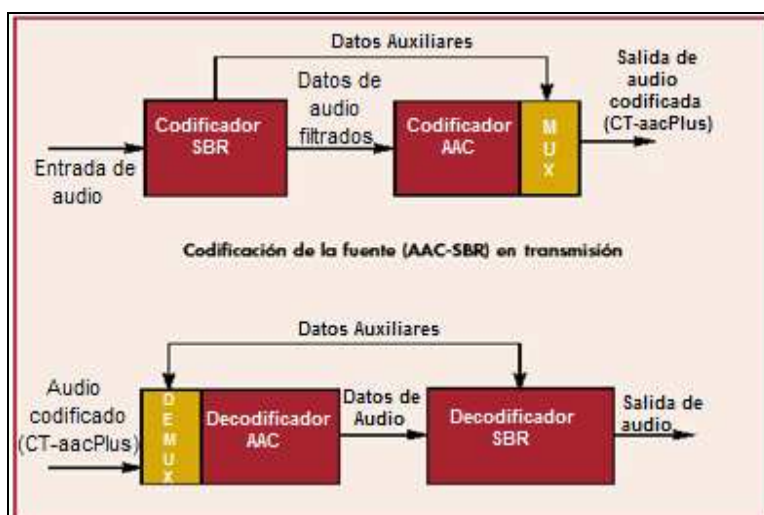


FIGURA 2.10 Decodificación de fuente (AAC - SBR) en recepción [16].

2.3.1.1.2 Algoritmo de codificación PAC de Lucent Technologies

Muestrea a frecuencia de disco compacto 44,1KHz y se aprovecha de las limitaciones psicoacústicas del oído humano para eliminar aquella información que no oímos hasta una compresión de hasta 6Kbps en baja calidad. A 64Kbps se asemeja al CD (ambos canales), entre 16-24Kbps es similar a una FM y para el caso AM de un canal es de 6 a 8 Kbps. El algoritmo, analiza cada porción del espectro de audio y se codifica exclusivamente aquellas componentes necesarias para el oyente.

2.3.2 SUBSISTEMA DE TRANSPORTE Y SERVICIO DE MULTIPLEX

Este subsistema, toma la información de datos y de audio que recibe, la organiza en paquetes, y los multiplexa en un solo flujo de bits. Esto permite al sistema IBOC, ofrecer múltiples servicios.

2.3.2.1 Servicio del Programa Principal (MPS)³⁹

El Programa del Servicio Principal mantiene los formatos de programación de la radio analógica existentes en ambas transmisiones tanto en las analógicas como en las digitales. Además, incluye una determinada capacidad de datos para transmitir información relacionada con el programa, como por ejemplo artista, título de la canción, etc.

2.3.2.2 Servicio de Programa Suplementarios (SPS)⁴⁰

El SPS es una extensión del MPS en las transmisiones IBOC en FM. El SPS permite la transmisión de audio adicional en formato digital. Esto permite que los programas adicionales de audio sean difundidos en la misma portadora. Múltiples canales SPS (hasta 7) o programas podrían ser transmitidos simultáneamente (multicast).

³⁹ **MPS:** Main Program Service

⁴⁰ **SPS:** Supplemental Program Service

2.3.2.3 Servicio de Identificación de la Estación (SIS)⁴¹

El Servicio de Identificación de la Estación, proporciona los datos necesarios para el control e identificación de la información que indirectamente permite al usuario seleccionar estaciones de radio digital IBOC con sus respectivos servicios de soporte.

2.3.2.4 Servicio de Datos Avanzados (ADS)⁴²

Los servicios de datos avanzados son texto, audio o vídeo, que están disponibles en el sistema IBOC.

2.3.3 SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN

El sistema IBOC, opera en AM y FM. Estas bandas de frecuencia, diferencian al subsistema de transmisión. Para ambas bandas, en este subsistema, se encuentra la codificación, el entrelazado y la modulación de la señal a ser transmitida.

2.3.3.1 Sistema IBOC AM

Para estaciones de onda media, el ancho de banda está definido en 9 KHz para Europa y 20 KHz que permite la emisión en estéreo para el caso de EEUU. En los últimos años varias empresas de los EEUU, en colaboración con la FCC (Federal Communications Comisión), han realizado pruebas de laboratorio y de campo para la estandarización de un sistema de radiodifusión sonora digital en las bandas de frecuencias por debajo de los 30 MHz.

⁴¹ **SIS:** Station Identification Service

⁴² **ADS:** Advanced Data Service

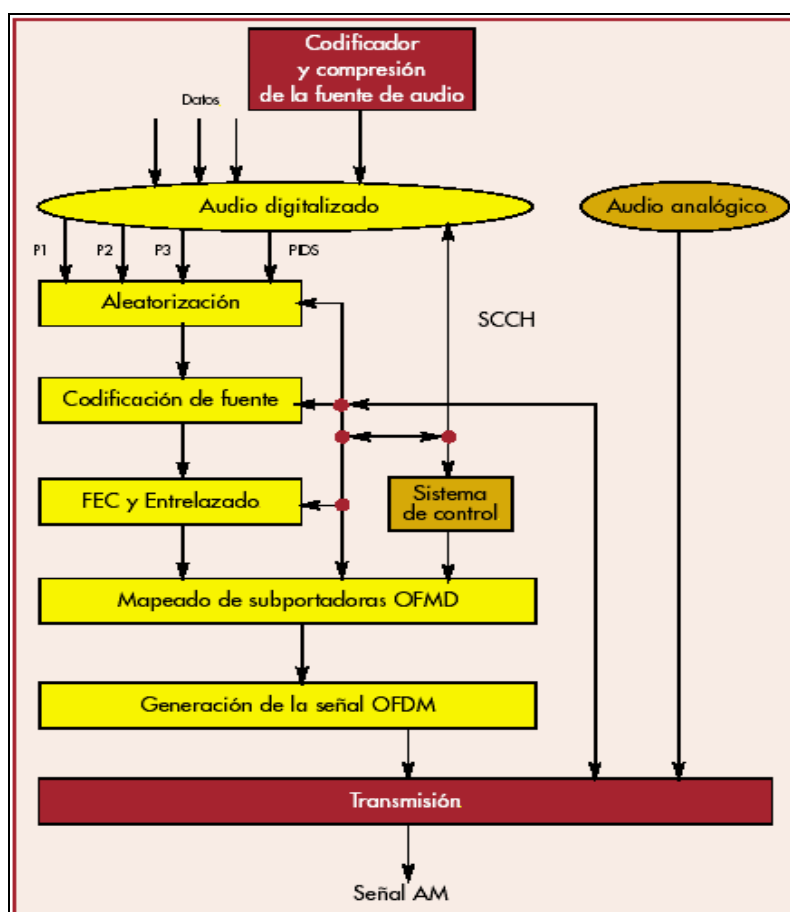


FIGURA 2.11 Diagrama de bloques con los diferentes canales lógicos y de control [16].

2.3.3.1.1 Canales Lógicos

El canal lógico es un trayecto, por el cual los servicios multiplexados, son conducidos en tramas, al bloque de mezclado (Aleatorización). El IBOC AM, suministra 4 canales lógicos principales: P1, P2, P3 y PIDS. Los canales P1, P2 y P3 se utilizan para configurar los diferentes servicios de audio y el canal PIDS⁴³ aporta la información de servicio de identificación de la estación (SIS).

⁴³ PIDS (Primary IBOC Data Service Logical Channel): Servicio de Datos primario de IBOC

Los canales P1 y P2 transmiten el audio asociado al códec principal y el canal P3 el audio asociado al códec mejorado (señal estéreo). Las velocidades de información aproximadas de los tres canales lógicos para cada modo de servicio se muestran en la tabla 2.5.

Modo de Servicio	Velocidad de información aproximada del canal (Kbps)				Forma De Onda
	P1	P2	P3	PIDS	
MA1 ⁴⁴	20	0	16	0.4	Híbrido
MA2	20	20	16	0.4	Híbrido
MA3	20	0	20	0.4	Todo Digital
MA4	20	20	20	0.4	Todo Digital

TABLA 2.5 Velocidad de información aproximada de los canales lógicos en AM [40].

Por consiguiente, mediante el canal de control del sistema (**SCCH**, *system control channel*), se transporta la información de control y estado relativos al modo de funcionamiento con parámetros de configuración.

2.3.3.1.2 Mezclado

Esta función coloca al azar los datos digitales transportados en cada canal lógico, para mitigar las periodicidades de la señal y ayudar a la sincronización del receptor.

2.3.3.1.3 Codificación de Canal

⁴⁴ **MA1**: Modo de acceso 1

Los bits mezclados en cada canal, se comunican al proceso del canal de codificación para una corrección de errores FEC.

2.3.3.1.4 Entrelazado

El sistema IBOC, dispone de un entrelazador para dispersar los errores en tiempo y frecuencia y así reducir las interrupciones.

2.3.3.1.6 Mapeo de Subportadora

El mapeo es la representación de los tipos de modulación que se use, ya sea 16-QPSK, DQPSK o 64-QAM y tiene como objetivo, representar a cada uno de los símbolos a la salida del entrelazador, como un punto en el plano bidimensional, a la disposición específica de los puntos en el plano se la conoce como constelación, señalada en DAB.

2.3.3.1.7 Generación de la señal OFDM

Los símbolos que se generan en el mapeo de subportadora son de forma compleja (Dominio de la frecuencia). Por tanto existe un bloque que consiste en una Transformada de Fourier Discreta, el cual convierte los símbolos complejos al dominio del tiempo.

2.3.3.1.8 Transmisión

El sistema utiliza también el método de multiportadoras denominado OFDM, que es un esquema en el cual muchas portadoras (QAM, Q-PSK) pueden ser multiplexadas por división de frecuencia de una manera ortogonal, de modo que no haya interferencia entre las portadoras.

Para generar la señal híbrida, se aplica un retardo por diversidad a la señal de audio analógico de banda base, para justificar los retardos de procesamiento en las señales analógicas y digitales.

Finalmente, la señal analógica se modula y se combina con el conjunto de símbolos OFDM, para formar la señal híbrida IBOC AM.

2.3.3.1.9 Modos de funcionamiento

El sistema AM IBOC (*in-band on-channel*) proporciona un medio flexible de transición a un sistema de transmisión totalmente digital funcionando en sus dos formas de onda que son:

- a) Híbrido
- b) Totalmente digital

En el modo híbrido se transmite la señal analógica y la señal digital en el canal asignado a la señal analógica.

En el modo totalmente digital todo el ancho de banda asignado a la estación se utiliza para la transmisión de las señales digitales por lo que aporta capacidades mejoradas de funcionamiento.

a) Modo híbrido (Simulcast)

En este modo, la señal digital es transmitida en bandas laterales (a ambos lados) y por debajo de la señal analógica. La señal digital es reducida en amplitud respecto a la señal analógica. El modo híbrido permite que, durante el periodo de introducción del sistema, sea posible la recepción del programa tanto por los nuevos receptores digitales como con los receptores convencionales de modulación de amplitud.

Así mismo, en este modo de funcionamiento, la señal analógica no contiene información estéreo. Pero, el contenido digital, proporciona calidad bastante superior a la de la señal analógica.

En las portadoras digitales, el codec núcleo proporciona la información de audio básica mientras que el codec mejorado proporciona información estereofónica de más alta calidad.

La ventaja es la calidad de la señal digital que es bastante superior a la de la señal analógica. Una prestación interesante de este modo de funcionamiento es que incorpora diversidad en el tiempo entre ambas señales; analógica y digital. La señal analógica es retardada respecto a la señal digital con el objeto de que exista sincronización entre ambas señales para la situación en que el receptor conmuta a la recepción analógica cuando se produce un elevado porcentaje de bits erróneos de la señal digital.

En la figura 2.12, las portadoras digitales (OFDM) se extienden aproximadamente $\pm 14,5$ KHz alrededor de la portadora principal. Las portadoras digitales, están igualmente espaciadas respecto a la portadora AM, y además la información que transportan en ambos lados de la portadora AM, es la misma.

En el modo híbrido, el ancho de banda de audio que modula la señal analógica está limitado a ± 5 KHz y no es posible la operación en modo estereofónico.

La información digital está contenida en 162 subportadoras, igualmente espaciadas dentro del ancho de banda del canal. Las portadoras numeradas desde - 81 a - 1 se encuentran ubicadas por debajo de la frecuencia central y las numeradas como 1 a 81, por encima de la portadora central.

Las subportadoras están agrupadas en 6 conjuntos. Cada conjunto ocupa un ancho de banda de 4,3 KHz.

El códec núcleo (conjuntos extremos) proporciona la información de audio básica mientras que el códec mejorado proporciona información estereofónica de más alta calidad.

La figura 2.12 muestra el espectro con sus respectivas modulaciones (QPSK, 16 QAM y 64 QAM).

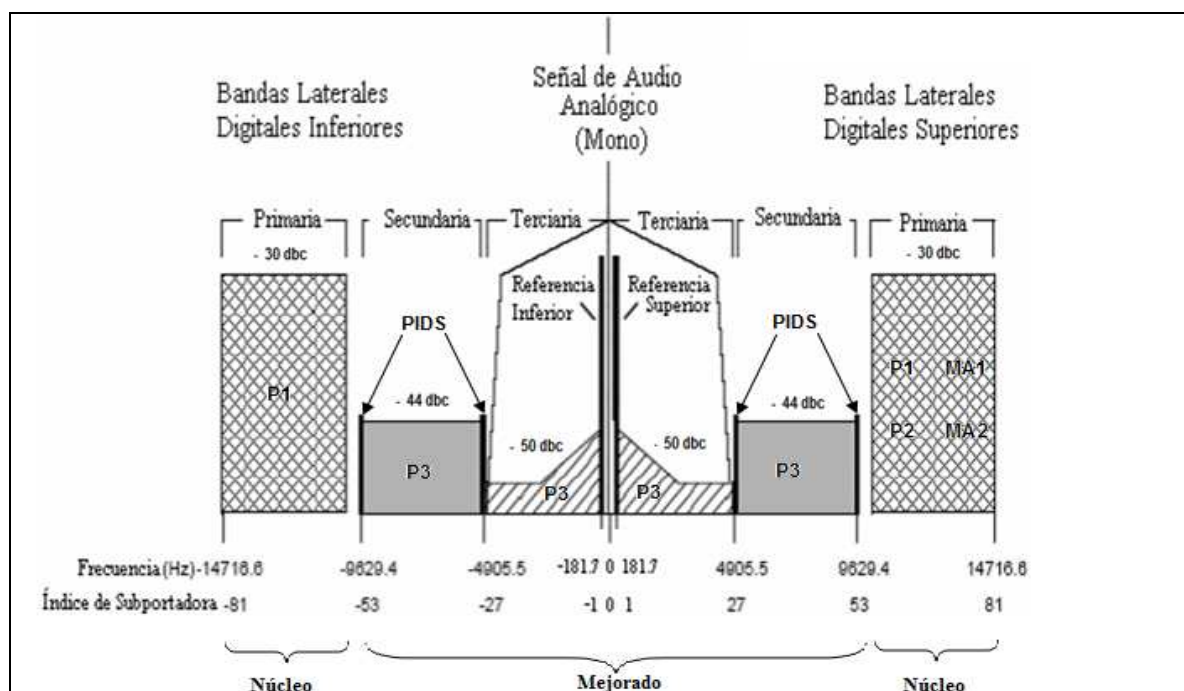


FIGURA 2.12 Espectro del sistema IBOC DBS híbrido [40].

Los conjuntos del códec núcleo comprenden 25 subportadoras cada una situada aproximadamente entre 10 KHz y 15 KHz a ambos lados de la portadora principal. Las subportadoras son moduladas utilizando esquemas 64 QAM⁴⁵.

Los conjuntos del códec mejorado comprenden 25 subportadoras cada una situada aproximadamente entre 5 KHz y 10 KHz a ambos lados de la portadora principal. Estas subportadoras son moduladas utilizando esquemas 16 QAM

⁴⁵ Para los datos menos relevantes se utilizan técnicas de modulación más eficientes (y menos robustas) como son los esquemas 64 QAM. Mayor eficiencia, se refiere a transmitir mayor cantidad de datos en el mismo ancho de banda.

Otras 25 subportadoras de codec mejorado, se sitúan entre 0 y 5 KHz a cada lado de la portadora principal. Estas últimas, se ubican por debajo de la señal analógica en cuadratura⁴⁶, a un nivel intermedio, es decir, lo suficientemente alto para dar un servicio confiable, y lo suficientemente bajo para no causar interferencia con la señal analógica. Estas subportadoras son moduladas utilizando esquemas QPSK⁴⁷.

Para minimizar las interferencias con el canal analógico y con los canales adyacentes la potencia de las subportadoras se ajusta a los niveles relativos (respecto a la portadora AM).

Como complemento a las subportadoras descritas anteriormente se añaden otras 6, dos subportadoras espaciadas 182 Hz alrededor de la portadora principal (subportadoras de referencia), transmite los datos del estado y control. El esquema de modulación utilizado es QPSK y su potencia se sitúa a 26 dB con respecto a la portadora principal. También se transmite cuatro subportadoras (PIDS) situadas aproximadamente a 5 KHz y 10 KHz. a ambos lados de la portadora principal y se utilizan para la transmisión de datos a baja velocidad. El esquema de modulación es 16 QAM y su potencia se sitúa a 43 dB por debajo de la portadora principal.

En el sistema híbrido, el caudal de audio núcleo es aproximadamente 20 Kbps, mientras que el caudal de audio mejorado añade aproximadamente 16 Kbps.

b) Modo Totalmente Digital

⁴⁶ **Cuadratura:** Trabajan a la misma frecuencia, pero en diferente fase.

⁴⁷ Para los datos que son más críticos como son datos de estado y control del proceso de decodificación se utilizan técnicas de modulación que garantizan una alta robustez (esquemas QPSK). La robustez significa poder decodificar adecuadamente los datos transmitidos en condiciones de alto porcentaje de errores.

El modo totalmente digital permite el funcionamiento digital mejorado tras suprimir la señal analógica existente. Los organismos de radiodifusión pueden elegir aplicar el modo totalmente digital en las zonas donde no hay estaciones analógicas que deban ser protegidas o después de un periodo suficiente de funcionamiento en modo híbrido cuando haya numerosos receptores digitales en el mercado.

En el modo totalmente digital, la información analógica es reemplazada por subportadoras digitales de mayor potencia.

La portadora principal no está modulada y es transmitida como señal de referencia. Por tanto, no es necesario transmitir las subportadoras complementarias de los conjuntos asociados al códec mejorado.

Las subportadoras están agrupadas en 4 conjuntos. Cada conjunto ocupa un ancho de banda de 4,3 KHz. Los conjuntos de núcleo comprenden 25 subportadoras cada uno, situados aproximadamente entre 0 KHz y 5 KHz a ambos lados de la portadora principal.

Las subportadoras son moduladas utilizando esquemas 64 QAM. Los conjuntos de mejorado comprenden 25 subportadoras cada una, situados entre 5 KHz y 10 KHz a ambos lados de la portadora principal.

Como complemento a las subportadoras descritas anteriormente se añaden otras 6, dos subportadoras espaciadas 182 Hz alrededor de la portadora principal transmiten los datos del estado y control. El esquema de modulación utilizado es QPSK y su potencia se sitúa a 15 dB con respecto a la portadora principal, cuatro subportadoras (PIDS) situadas aproximadamente a 5 KHz y 10 KHz a ambos lados de la portadora principal y se utilizan para la transmisión de datos a baja velocidad. El esquema de modulación es 16 QAM y su potencia se sitúa a 30 dB por debajo de la portadora principal.

El sistema totalmente digital utiliza el mismo sistema de códec y los métodos de FEC que el sistema híbrido con idénticas velocidades binarias (20 Kbps para el audio del núcleo y 16 Kbps para el audio mejorado). Esto simplifica el diseño del receptor que tiene que admitir ambos modos de funcionamiento.

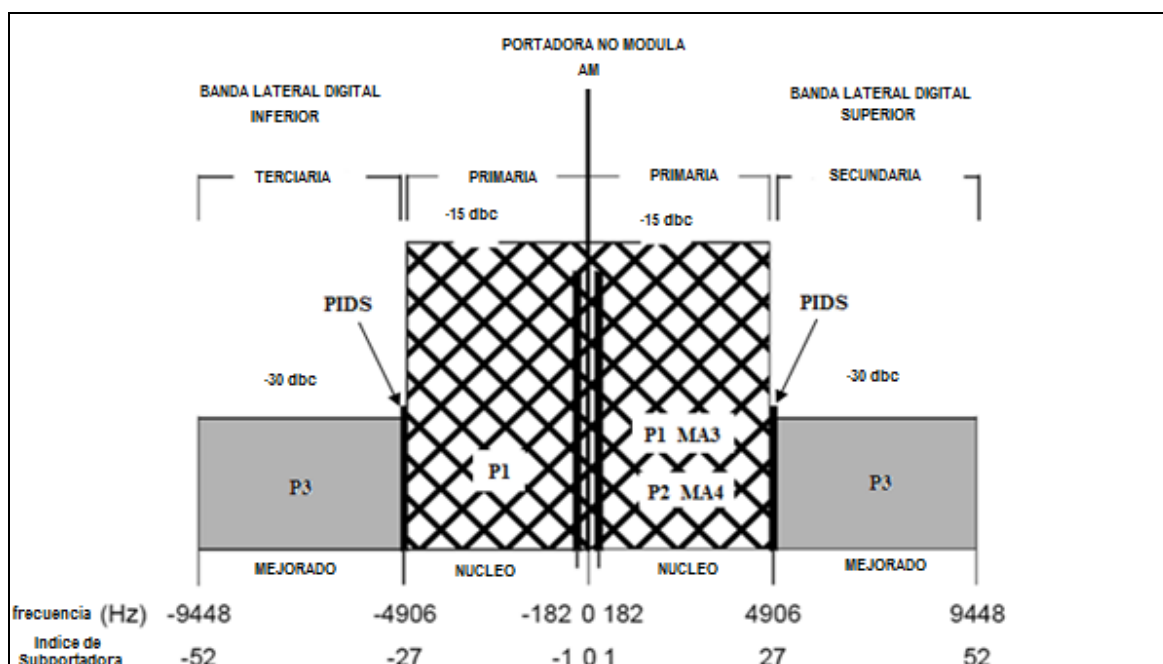


FIGURA 2.13 IBOC AM totalmente digital [40].

2.3.3.2 IBOC FM

El sistema IBOC FM (In-Band ONChannel) permite la utilización de los sistemas híbridos (Simulcast), que tiene capacidad para transmitir la señal analógica y digital en el ancho de banda atribuido a los actuales sistemas de frecuencia modulada permitiendo a los organismos de radiodifusión introducir estas mejoras sin necesidad de utilizar nuevas atribuciones de espectro para la señal digital ya que las estaciones existentes pueden difundir la misma programación en modo analógico y en modo digital, lo que proporciona un medio eficaz, desde el punto de vista de utilización del espectro, para hacer una transición racional del actual entorno analógico a un futuro entorno digital.

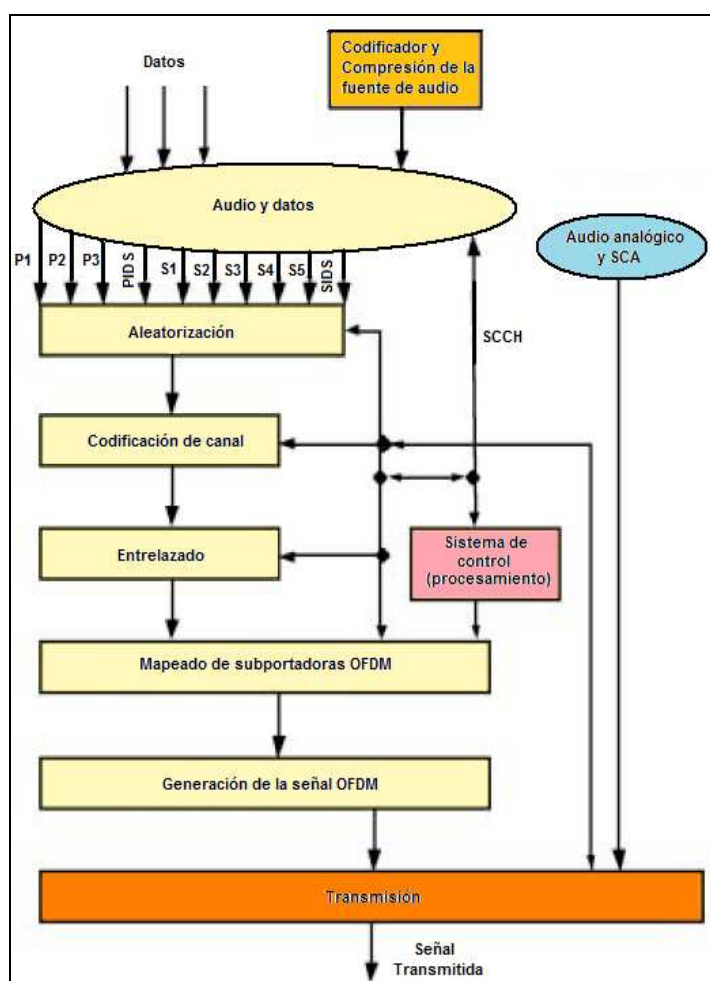


FIGURA 2.14 Diagrama de Bloques con los diferentes canales lógicos y de control [17].

2.3.3.2.1 Canales Lógicos

Para la configuración de los modos de servicio se dispone de 4 canales lógicos principales (P1, P2, P3 y PIDS) y 6 canales lógicos secundarios (S1, S2, S3, S4, S5 y SIDS).

Los canales lógicos primarios P1, P2 y P3 que se usan tanto para las formas de onda híbrida y completamente digital, se utilizan para configurar los diferentes servicios de audio primario y el canal PIDS aporta el servicio de información de la estación (SIS).

Modo de Servicio	Velocidad de transmisión de la información teórica (Kbps)				Forma de Onda
	P1	P2	P3	PIDS	
MP1	25	74	0	1	Hibrida
MP2	25	74	12	1	Hibrida ampliada
MP3	25	74	25	1	Hibrida ampliada
MP4	25	74	50	1	Hibrida ampliada
MP5	25	74	25	1	Hibrida ampliada, completamente digital
MP6	50	49	0	1	Hibrida ampliada, completamente digital
MP7	25	98	25	1	Hibrida ampliada, completamente digital

TABLA 2.6 Velocidad de transmisión de la información teórica de los canales lógicos primarios [17].

Modo de Servicio	Velocidad de transmisión de la información aproximada (Kbps)						Forma de Onda
	S1	S2	S3	S4	S5	SIDS	
MS1	0	0	0	98	6	1	Totalmente Digital
MS2	25	74	25	0	6	1	Totalmente Digital
MS3	50	49	0	0	6	1	Totalmente Digital
MS4	25	98	25	0	6	1	Totalmente Digita

TABLA 2.7 Velocidad de transmisión de la información teórica aproximada de los canales lógicos secundarios [17].

Existen seis canales lógicos secundarios S1, S2, S3, S4, S5 y SIDS⁴⁸ que se usan solo en el sistema totalmente digital donde se los utiliza para la transmisión de datos o de sonido ambiental (audio complementario). El SIDS aporta con los datos de información de la estación (SIS), pero así mismo cuando se encuentra en modo

⁴⁸**SIDS (Secondary IBOC Data Service Logical Channel):** Servicio de Datos secundarios IBOC.

completamente digital. Las siguientes tablas muestran la velocidad de transmisión aproximada de la información en los canales primarios y secundarios, de acuerdo al modo de servicio que se quiera establecer.

2.3.3.2.2 Mezclado

En forma similar a IBOC AM, esta función mezcla o aleatoriza los datos digitales en cada canal lógico, para ayudar al receptor en la sincronización.

2.3.3.2.3 Codificación de Canal

En este bloque, se añade redundancia a los datos digitales en cada canal lógico para mejorar su fiabilidad en presencia de degradaciones de canal.

2.3.3.2.4 Entrelazado

El entrelazado en tiempo y frecuencia se utiliza para reducir los efectos de los errores de ráfaga.

2.3.3.2.5 Mapeo de Subportadora

Los datos a la salida del entrelazador, se les asigna un punto en el plano bidimensional (QPSK, QAM, etc.).

2.3.3.2.6 Generación de la señal OFDM

Esta función genera la porción digital de señal en el dominio del tiempo.

2.3.3.2.7 Transmisión

Finalmente, esta función realiza el formateo de la forma de onda en banda base para la transmisión a través del canal en la banda de ondas métricas. Además, cuando se transmite una forma de onda híbrida, esta función modula la fuente y la combina con la señal digital para formar una señal híbrida compuesta.

2.3.3.2.8 Modos de Funcionamiento

Las subportadoras OFDM se ordenan en grupos denominados divisiones de frecuencia. Cada división de frecuencia está constituida por 18 subportadoras para datos y una subportadora de referencia, una de tipo A y otra de tipo B. En la figura 2.15 se muestra la estructura de ambos tipos. Las portadoras están espaciadas 363,373 Hz.

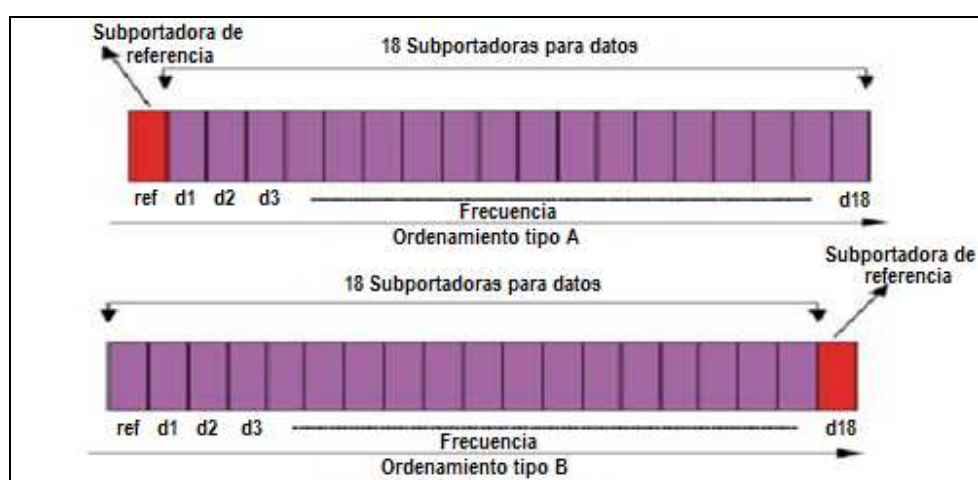


FIGURA 2.15 Estructura de ambos tipos [17].

La estructura de subportadoras del canal completo para ambas bandas laterales está representada en las figuras 2.16 y 2.17. Cada cuadro corresponde a una división de frecuencia de las mostradas en la figura 2.15.

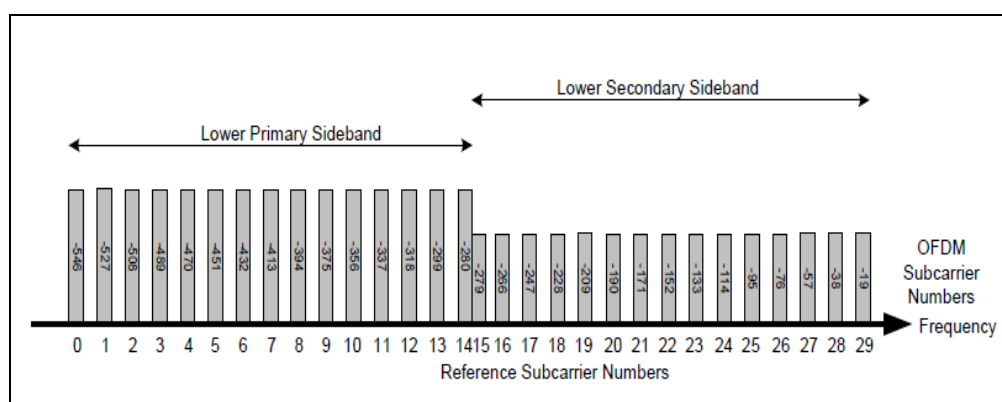


FIGURA 2.16 Subportadoras de la banda lateral inferior [29].

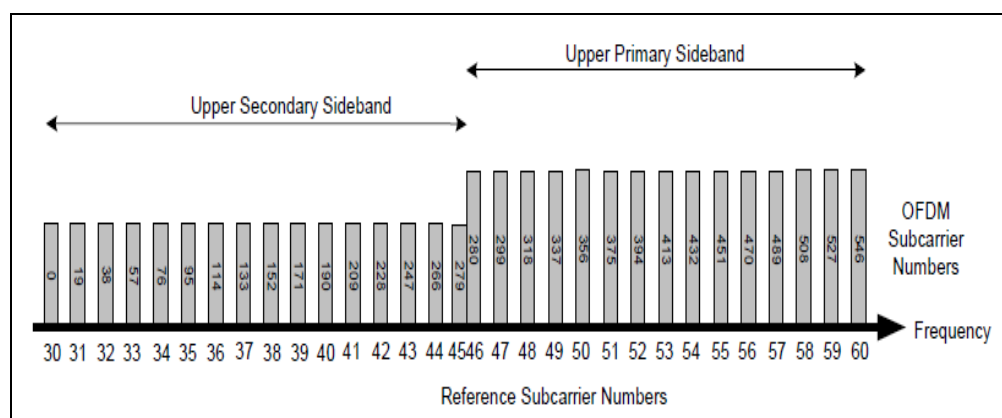


FIGURA 2.17 Subportadoras de la banda lateral superior [29].

a) Forma de onda híbrida

La señal digital se transmite en bandas laterales principales primarias a cada lado de la señal FM analógica en la forma de onda híbrida.

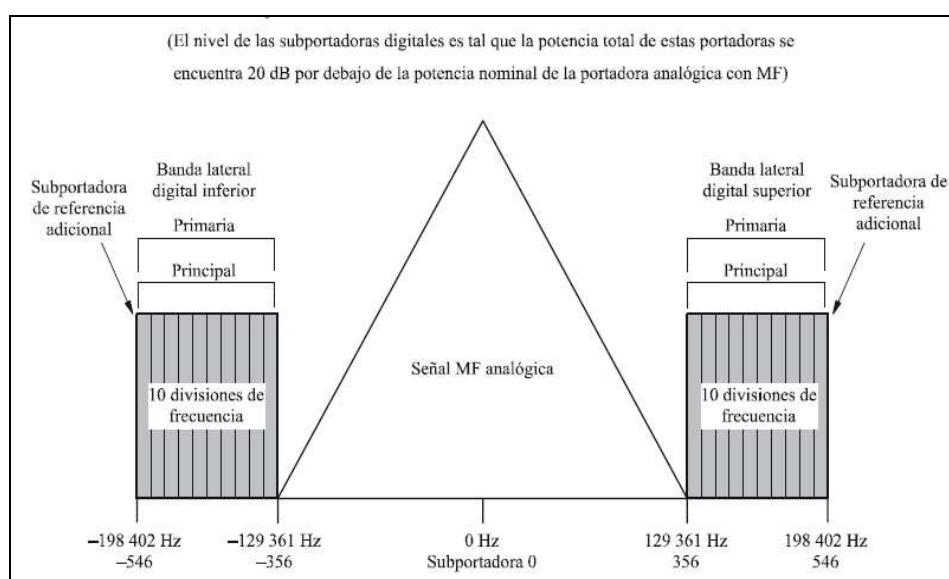


FIGURA 2.18 Espectro de la forma de onda Híbrida: Modo de servicio MP1 [9].

El nivel de potencia de cada banda lateral se encuentra aproximadamente a 23 dB por debajo de la potencia total de la señal modulada en frecuencia analógica.

b) Forma de onda híbrida ampliada

En la forma de onda híbrida ampliada, la anchura de banda de las bandas laterales híbridas puede ampliarse hacia la señal modulada en frecuencia analógica para aumentar la capacidad digital. Este espectro adicional, atribuido en el borde interior de cada banda lateral principal primaria, se denomina banda lateral ampliada primaria.

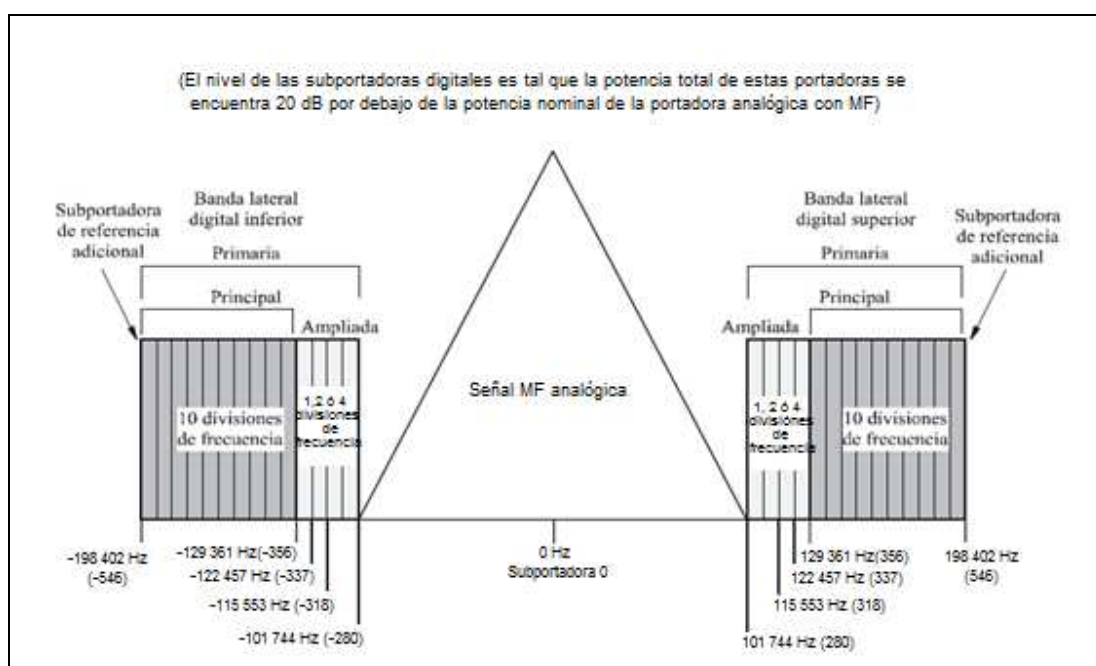


FIGURA 2.19 Espectro de la forma de onda Híbrida ampliada: Modo de servicio MP2 a MP4 [9].

c) Forma de onda completamente digital

Las mayores mejoras que se logran en el sistema con la forma de onda completamente digital, está en la eliminación de la señal analógica y la ampliación completa del ancho de banda de las bandas laterales digitales primarias como en el caso de la forma de onda híbrida ampliada. Además, esta forma de onda completamente digital, permite la transmisión de bandas laterales secundarias digitales con una potencia menor, en el espectro que ha dejado libre la señal en frecuencia modulada analógica.

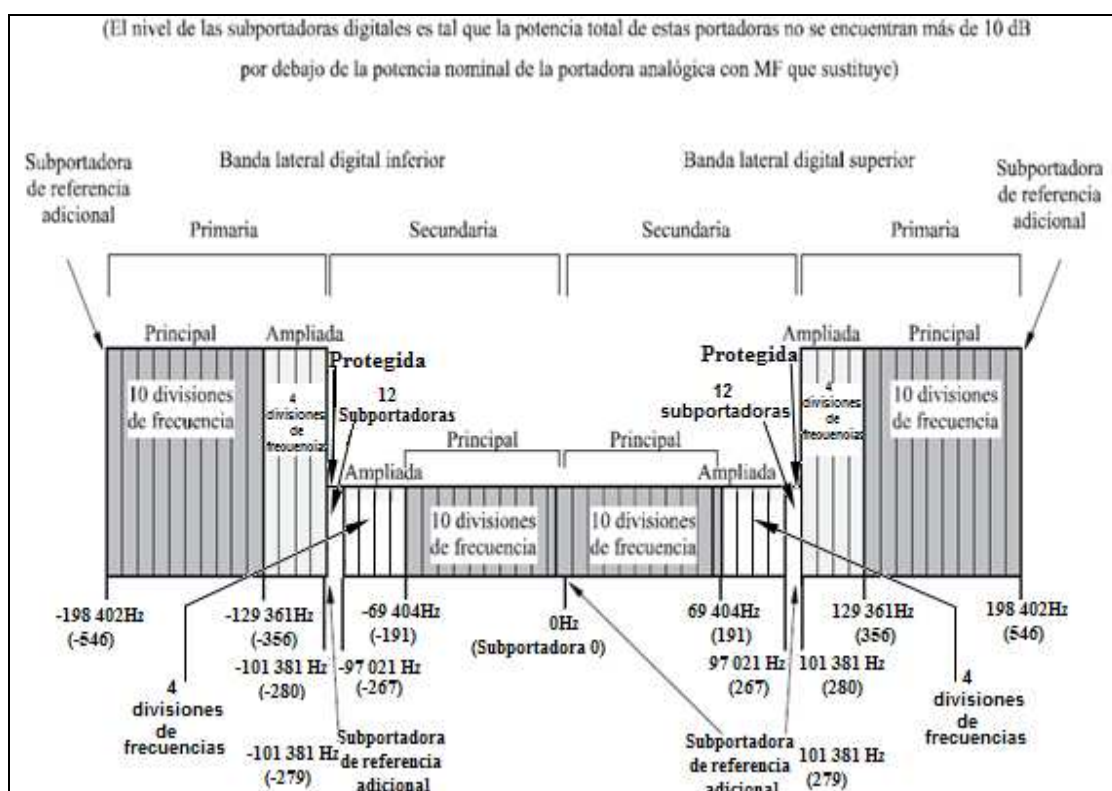


FIGURA 2.20 Espectro de la forma de onda completamente digital: Modos de servicio MP5 a MP7, MS1 a MS4 [9].

Además de las diez divisiones de frecuencia principal en cada banda lateral primaria de la forma de onda completamente digital, existen cuatro divisiones de frecuencia ampliada. Cada banda lateral secundaria también tiene diez divisiones de frecuencia principal secundaria y cuatro divisiones de frecuencia ampliada secundaria.

A diferencia de las bandas laterales primarias, las divisiones de frecuencia principal secundaria tienen su correspondencia más cerca del centro del canal y las divisiones de frecuencia ampliadas más alejadas del centro.

Se transmiten dos portadoras de referencia, las numeradas como -279 y 279 y 12 subportadoras OFDM protegidas que se encuentran en aquella zona del espectro con menos probabilidad de ser interferida por la interferencia analógica y digital.

Cada banda lateral secundaria comprende las portadoras 1 a 190 y -1 a -190. Las bandas laterales secundarias extendidas comprenden las subportadoras 191 a 266 y las -191 a -266. Las bandas laterales protegidas comprenden las subportadoras -267 a -278 y las 267 a 278.

La potencia media de las subportadoras primarias principales estará a 10 dB por debajo a las que le correspondía en el sistema híbrido. La potencia media de las subportadoras secundarias estará entre 5 y 20 dB por debajo de las subportadoras primarias.

2.4 ESTANDAR DRM (Digital Radio Mondiale)

DRM es un sistema creado por el consorcio del mismo nombre cuya misión fue establecer un sistema digital para las bandas de radiodifusión con modulación AM, onda larga, onda media y onda corta. Es un estándar para la radiodifusión que inicialmente operaba a frecuencias por debajo de 30 Mhz, actualmente se ha ampliado hasta los 120 MHz.

El sistema DRM ha sido diseñado para ser utilizado en canales de 9 ó 10 kHz o múltiplos de estos anchos de banda de canal. Además se pretende que en un futuro exista la posibilidad de utilizar canales múltiplos con 18 KHz ó 20 KHz, por ejemplo, para soportar una mejor calidad o realizar transmisiones en estéreo. Las diferencias detalladas de cómo parte el tren de bits disponibles para estos canales, utilizados para audio, protección contra errores, corrección de errores y para datos, dependen de la banda asignada (ondas kilométricas, hectométricas o decamétricas) y del uso previsto (por ejemplo, onda de superficie, onda ionosférica a corta distancia u onda ionosférica a larga distancia). En otras palabras hay compromisos modales disponibles de modo que el sistema pueda satisfacer las diversas necesidades de los organismos de radiodifusión a escala mundial.

Con este estándar se trata de recuperar para la radiodifusión de calidad una banda de frecuencias históricamente destinada a radiodifusión en AM y que no resulta

apetecible a los operadores telefónicos, tampoco puede ser utilizada por los sistemas móviles razón por la cual no ha podido ser ocupada por estos poderosos operadores.

DRM emplea codificación de audio avanzada (AAC, advanced audio coding), complementada con replicación de banda espectral (SBR, spectral band replication) como su codificación digital principal. Para la codificación y modulación de canal se utiliza multiplexión por división ortogonal de frecuencia (OFDM) y modulación de amplitud en cuadratura (QAM), junto con entrelazado temporal y corrección de errores sin canal de retorno (FEC), basada en un código convolucional. La combinación de estas técnicas resulta en un sonido de más alta calidad con recepción más robusta dentro de la zona de cobertura prevista, en comparación con la calidad de la AM utilizada actualmente.

El sistema DRM, permite la utilización de redes de frecuencia única (SFN). Así mismo, el sistema funciona bien en condiciones de propagación difíciles, tales como la propagación de la onda ionosférica por múltiples trayectos a larga distancia en la banda de ondas decamétricas y también en condiciones más fáciles como la propagación de la onda de superficie en la banda de ondas hectométricas.

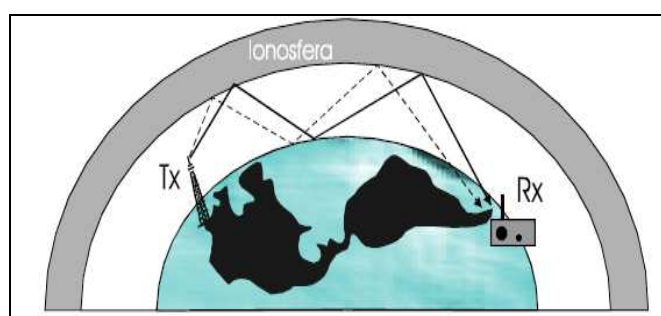


FIGURA 2.21 Multitrayecto [14].

En la figura 2.21 se muestra el caso en que el receptor recibe la onda principal, dibujada en línea gruesa y una secundaria indicada en trazo discontinuo, donde la diferencia de longitud entre ambos trayectos hace que los retardos sean también diferentes.

2.4.1 BREVE DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DRM

La figura 2.22 describe el flujo general de las diferentes clases de información desde la codificación hasta la modulación del transmisor DRM.

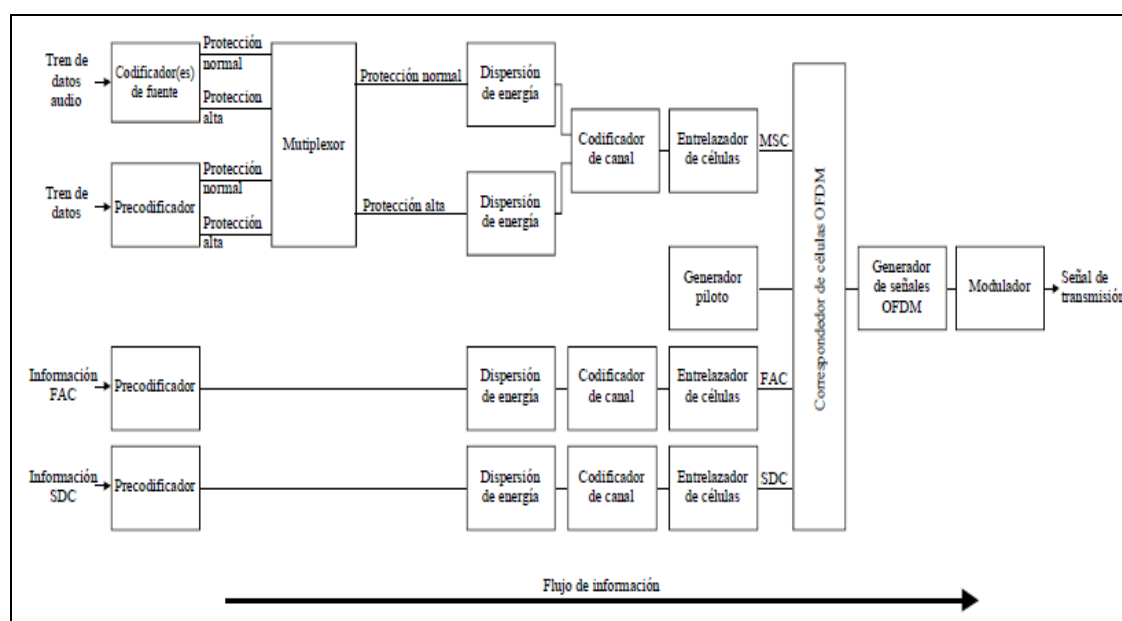


FIGURA 2.22 Formación de la señal DRM en el extremo transmisor [10].

A la entrada del diagrama se tiene dos tipos de información: Audio y datos codificados que se combinan en el multiplexor del servicio principal con diferentes relaciones de protección.

Así mismo, se tiene Canales de información denominados: Canal de Acceso Rápido (FAC, por sus siglas en inglés) y Canal de Descripción del Servicio (SDC, por sus siglas en inglés) que no se procesan en el multiplexor.

La señal de audio, debe convertirse primero a la modalidad digital. La tasa binaria (velocidad de bits) en bruto que surge de este proceso de digitalización suele ser excesiva para un ancho de banda tan reducido como el de 10KHz, del que se dispone. Se necesita reducir esta tasa lo que se consigue con la denominada codificación de fuente.

2.4.1.1 Codificación de la fuente audio

El codificador de fuente de audio y los pre-codificadores de datos aseguran la adaptación de los trenes de entrada a un formato de transmisión digital apropiado. Para el caso de un codificador de fuente de audio, esta funcionalidad incluye las técnicas de compresión de audio.

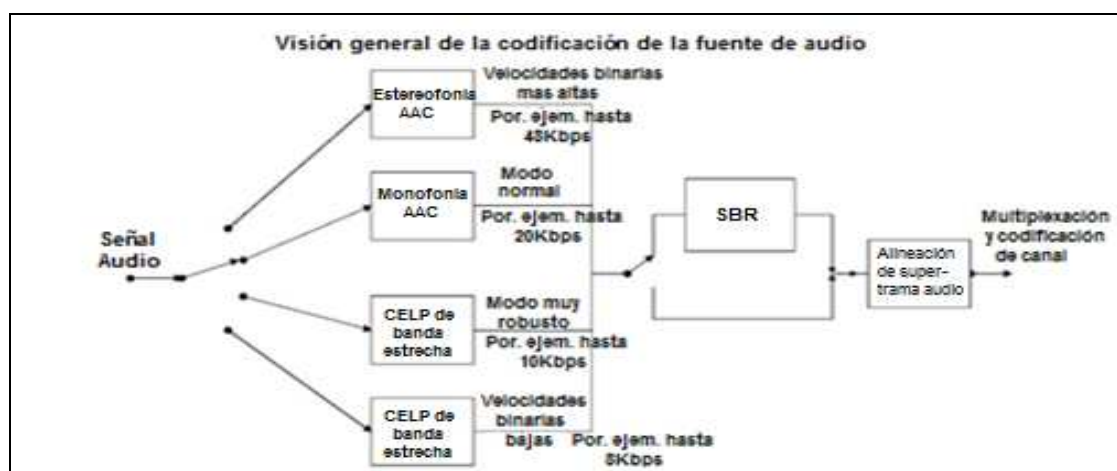


FIGURA 2.23 Fuente de Audio [10].

Las opciones de codificación de la fuente disponibles para el sistema DRM se presentan en la Figura 2.23. Todas estas opciones con excepción de la estereofonía AAC están diseñadas para ser utilizadas dentro de los actuales canales de 9/10 KHz para radiodifusión sonora por debajo de los 30 MHz. La opción CELP⁴⁹ proporciona codificación vocal a velocidad binaria relativamente baja y la opción AAC emplea un subconjunto del MPEG-4 normalizado para velocidades binarias bajas (hasta 48 Kbps). Estas opciones pueden ser mejoradas por un instrumento de mejora de ancho de banda, tales como la SBR ilustrada en la figura 2.23, donde se indican también las velocidades binarias de salida representativas. Todo esto es seleccionable por el radiodifusor.

⁴⁹ **CELP**: Predicción lineal con excitación por código

La fuente de audio sufre una primera codificación donde primero se digitaliza para luego reducir el flujo de bits. Esta codificación de fuente y sus parámetros dependen de la relación entre el tratamiento requerido para la máxima calidad según el tipo de audio fuente y la tasa binaria soportada por el canal, dando lugar a tres esquemas.

2.4.1.1.1 Codificación MPEG-4 AAC

Incluye herramientas de robustez frente a los errores para la radiodifusión de audio en mono y estéreo, en torno a 20 Kbps con tasas de muestreo de 12KHz y 24KHz que corresponden a tramas de audio de 400ms. Dentro de las herramientas para la robustez frente a los errores se tiene: HCR (Huffman Codeword Reordering), VCB11 (Virtual Codebooks for Codebook 11) y RVLC (Reversible Variable Length Coding).

2.4.1.1.2 Codificación de MPEG-4 CELP16

Codifica muestras de voz de 8KHz o 16KHz para robustecer al sistema frente al error en la transmisión de voz sólo en mono, o cuando se dispone una baja tasa de bits, especialmente cuando se requiere una alta robustez frente al error. Posee transmisiones simulcast en lugar de tener un programa de audio de 20 kbps a 24 kbps, el canal contiene dos o tres señales de voz de 8 Kbps a 10 Kbps cada una, permitiendo transmisiones de voz simultáneas.

2.4.1.1.3 Codificación de MPEG-4 HVXC17

Codifica muestras de voz para una tasa de bits muy baja a 2 Kbps o 4 Kbps y da mayor robustez frente al error usando códigos CRC (Código de Redundancia Cíclica) en la transmisión de la voz en mono. Las tasas de bit operativas de HVXC abren nuevas aplicaciones para DRM como: Servicios de voz además del servicio de audio, Aplicación multi-idioma y el almacenamiento de múltiples programas como noticias, base de datos, etc.

2.4.1.2. Multiplexación DRM

Los datos a la salida del codificador de fuente se multiplexan con el resto de datos asociados al programa resultando lo que se denomina datos útiles. El multiplexor transporta tres componentes, que juntos suministran la información necesaria para que el receptor sincronice la señal y determine qué parámetros se han utilizado en la codificación, para de esta forma poder decodificar los canales de audio y datos contenidos en el múltiplex. Estos tres componentes son:

2.4.1.2.1 Canal de Servicio Principal (MSC)

El múltiplex MSC es el de mayor capacidad y puede contener hasta cuatro servicios o flujos, cualquiera de los cuales puede ser audio o datos. La velocidad binaria bruta del MSC depende del ancho de banda de canal y del modo de transmisión utilizada.

En todos los casos, se divide en tramas de 400 ms. El audio puede ofrecerse en una o varias lenguas, sin embargo existe cierta flexibilidad en la asignación de los flujos de información disponibles donde se incluyen también los datos.

La velocidad de datos del MSC depende del ancho de banda del canal y del modo de transmisión utilizada.

2.4.1.2.2 Canal de Acceso Rápido (FAC)

El FAC proporciona información sobre el ancho de banda de la señal y otros parámetros; también se utiliza para permitir la exploración rápida de la información de selección de servicio.

La información contenida en el FAC, es la ocupación del espectro y entrelazado para que el receptor pueda decodificar la trama multiplex (Parámetros del Canal). Así mismo, contiene información de servicios para el múltiplex MSC, para facilitar al receptor la búsqueda rápida de servicios, en el "dial" de frecuencias (Parámetros de Servicios). Siempre debe decodificarse primero el canal FAC antes de que se pueda decodificar cualquier otra parte de la señal. La información del FAC va en todas las tramas de 400 ms.

2.4.1.2.3 Canal de Descripción del Servicio (SDC)

Aporta datos indicando los servicios disponibles en el canal MSC, así como información para decodificar el MSC, por último aporta con información, para saber cómo encontrar fuentes alternativas de servicios. Su longitud varía de acuerdo al ancho de banda ocupado y por factores de robustez del sistema.

Una vez organizada la información de cada uno de estos tres canales, se somete cada flujo a un proceso de dispersión energética, con la idea de evitar largas secuencias de bits de valor constante. Posteriormente, se aplica codificación de canal, para después aplicar entrelazado (tanto en tiempo como en frecuencia) para aumentar su robustez frente a desvanecimientos planos.

2.4.1.3. Codificación de canal y modulación de subportadora

Cuando se trabaja en la banda de HF se utiliza transmisión ionosférica que experimenta, como se vio anteriormente, una propagación multitrayecto. En tales condiciones pueden producirse retardos de 1ms o más entre la onda principal y las secundarias. Esta situación hace que el sistema DRM sea apto para el uso del sistema COFDM (OFDM codificado); esta codificación se refiere a la codificación FEC (*Forward Error-correction Coding*). Este sistema aporta una redundancia que permite que el receptor pueda hacer frente al ruido, a las consecuencias del desvanecimiento, etc. Se trata de una codificación bastante elaborada denominada MLC (*Multi-level Coding*) basada en una codificación convolucional. Estas dos componentes principales son complementadas por la utilización de un entrelazado en frecuencia y en tiempo.

El proceso de modulación y demodulación se realiza utilizando simplemente la transformada rápida de Fourier en sus dos versiones, la inversa IFFT y la directa FFT. Las subportadoras se modulan con modulación de amplitud en cuadratura (QAM). En la codificación del canal de servicio principal se puede utilizar 64 QAM, que proporciona mayor eficiencia espectral, y 16 QAM que proporciona las

características más robustas para protección de errores. En cada uno de los casos se pueden utilizar diferentes niveles de protección frente a errores. En la codificación del canal de acceso rápido se utiliza modulación 4 QAM. El canal de descripción del servicio puede utilizar 16 QAM ó 4 QAM. La modulación 16 QAM proporciona mayor capacidad, mientras que la 4 QAM proporciona una característica más robusta frente a errores.

Una vez ordenados los bloques para conformar la trama de transmisión OFDM, se construye dicha trama aplicando uno de los 4 modos OFDM.

2.4.1.4. Parámetros de transmisión

Parámetro	Modos de Transmisión			
	A	B	C	D
N portadoras	226	206	138	88
Tu (ms)	24	21.3	14.6	9.3
Tg (ms)	2.6	5.3	5.3	7.3

TABLA 2.8 Modos de transmisión [14].

Como se dijo antes, el canal de transmisión en la banda de HF, la ionosfera, es un canal muy variable y en base a esta característica, se ha tratado de encontrar un compromiso entre la robustez necesaria y la calidad de la información que con el sistema DRM se pretende hacer llegar al usuario. Es así que se han previsto 4 modos de transmisión.

- A: Para canales gaussianos sometidos a mínimos desvanecimientos.
- B: Modo robusto frente a las dispersiones temporal y frecuencial debida a la propagación multitrayecto.
- C: Como el modo B pero haciendo hincapié en la dispersión de frecuencia.

- D: Como el modo B pero mucho más robusto frente a ambas dispersiones.

En cada uno de estos modos, según el ancho de banda empleado (4.5 KHz, 5 KHz, 9 KHz, 10 KHz y para estéreo 18 KHz o 20 KHz) y la tasa de bits permitida por las condiciones del canal radio, se fijan una serie de parámetros que condicionan la robustez de la trama OFDM:

- Espaciado entre portadoras consecutivas de cada símbolo OFDM. A mayor espaciado aumenta la robustez frente a la dispersión frecuencial.
- Duración del intervalo de guarda entre símbolos OFDM consecutivos. Su aumento provoca la resistencia frente a la dispersión temporal.

Para explicar estas modalidades habrá que entender primero los tipos de posibles deterioros que se pueden producir en el canal de transmisión (ya sea de onda de superficie o ionosférica).

En las mejores condiciones se tiene lo que ha dado en llamarse un canal de transmisión gaussiano, donde las condiciones de propagación son muy regulares sin desvanecimientos profundos. Este tipo de propagación se da en onda larga y onda media donde predomina la onda superficial para ello se ha pensado en el “*modo A*”. En estas condiciones el sistema OFDM se transmite en un ancho de banda de 10kHz con el mayor número de subportadoras ($N=226$).

El período de símbolo viene dado por la ecuación 2.2, que es la duración o período de símbolo **T_s** y está formado por la suma del intervalo útil **T_u** y el intervalo de guarda **T_g**, es decir:

$$T_s = T_u + T_g \quad (2.2)$$

Como surge de la tabla anterior, de los 26.6 ms de la duración de un símbolo **T_s** el período útil **T_u** es de 24 ms dejándose 2.6 ms para el intervalo de guarda **T_g**.

De esta forma el modo A lleva la velocidad de transmisión más alta, del orden de los 20kbps o mayor y por ende se tiene el mejor aprovechamiento de los datos pero su robustez es baja, por lo que este modo sólo se usa en canales gaussianos.

En las frecuencias más altas de la onda media y en la banda de HF la propagación depende de la ionosfera (canal ionosférico) donde las condiciones de propagación son bastante peores que las gaussianas anteriores. Se habla entonces de un canal Rice o incluso de un canal Rayleigh donde el desvanecimiento (fading) debido al multitrayecto empeora notoriamente las condiciones de recepción.

Para conseguir unas contramedidas que preserven una robustez compatible con una relativa buena calidad se hace necesario aumentar el intervalo de guarda a costa del período útil, ya que el período T_s seguirá siendo el mismo, (Ecuación 2.2). Esto es lo que se hace en los modos B, C y D, por ejemplo en el modo B el período útil $T_u=21.3$ mientras que el tiempo de guarda se aumenta a $T_g=5.3$.

Para las peores condiciones de propagación se ha descrito el modo D que lleva la más alta robustez pero la velocidad de transmisión (tasa de bits) se reduce notablemente (a una tasa binaria de 10kbps o menor). Se observa, en este modo, que el tiempo de guarda se aproxima al tiempo útil y se transmiten sólo 88 subportadoras. De esta forma, en el modo D la calidad se degrada notoriamente ya que el ancho de banda sigue siendo el mismo 10kHz, pero la cantidad de información que se puede transmitir en ese ancho de banda resulta mucho menor.

2.4.1.5. La trama

La información que se encuentra en el sistema DRM está concentrada en supertramas. Una supertrama de transmisión en el sistema DRM está formada por tres tramas de transmisión, cada una de estas tramas contiene N_s símbolos OFDM. Esos símbolos a su vez contienen datos e información de referencia. El número de símbolos (N_s) depende del modo de transmisión, para los modos A y B $N_s=15$, en el modo C es $N_s=20$ y en el más robusto el modo D $N_s=25$.

Concretando, la trama de transmisión del sistema OFDM contiene celdas de datos, celdas de control y celdas piloto, las celdas de control son las FAC y SDC. Las celdas piloto facilitan la sincronización y recepción.

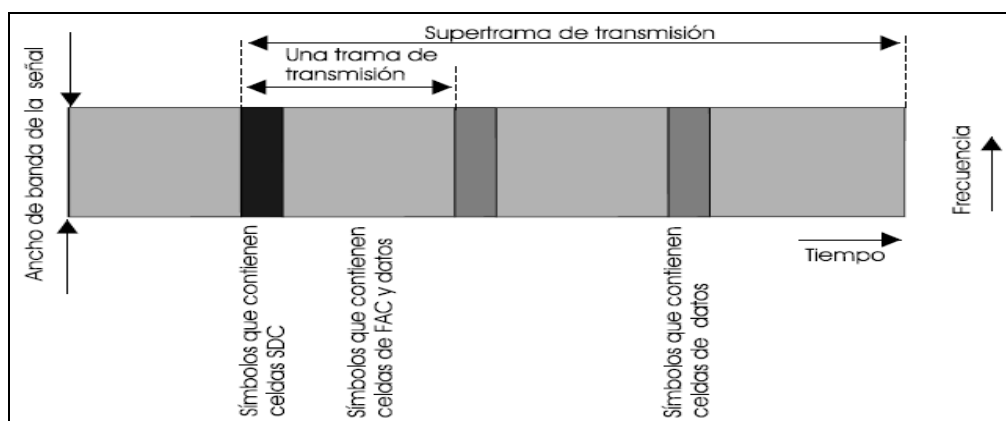


FIGURA 2.24 Detalle de una supertrama OFDM [14].

2.4.1.6 Modulación

Una de las ventajas de usar DRM, es que se puede usar los transmisores analógicos existentes. El modulador DRM, se encarga de conformar la señal OFDM, para posteriormente transmitirla al aire mediante un transmisor.

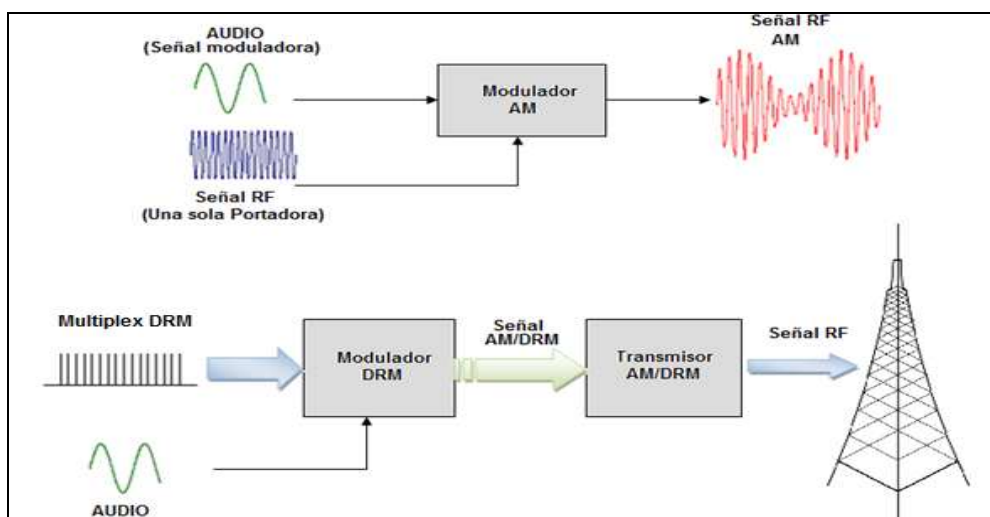


FIGURA 2.25 Diferencia entre modulador analógico y modulador DRM.

Como indica la figura 2.25, se inyecta el multiplex DRM y la señal de audio analógica, dependiendo del tipo de modulador DRM, la salida ingresa al transmisor analógico.

Algunos transmisores usados actualmente se pueden modificar para transmitir señales DRM. Para el caso de transmisores más antiguos se deberá remplazar por nuevos equipos capaces de tratar las señales DRM y a la vez, se pueda seguir difundiendo la señal AM analógica.

2.4.1.7 Medios de propagación

La frecuencia central de transmisión y la distancia a cubrir determinan el tipo de propagación empleada:

2.4.1.7.1 Onda de superficie

Para frecuencias bajas y medias (hasta 8 MHz) y distancias de hasta 1000 km, depende de la conductividad y permitividad del terreno.

2.4.1.7.2 Onda ionosférica

Para frecuencias medias y altas preferentemente y distancias de hasta 12000 km, se basa en el efecto de refracción-reflexión de las ondas LF, MF y HF en las distintas capas de la ionosfera que provocan uno o varios “rebotes” de la señal. La propagación es por lo tanto dependiente de condiciones muy variables en función de la ionización de la atmósfera por las radiaciones solares. Estas variaciones en la ionización pueden ser tanto habituales (luz solar) como esporádicas (manchas solares) e imprevistas (tormentas magnéticas), así como de otros tipos (radiaciones cósmicas).

2.4.1.7.3 NVI (Near Vertical Incidence)

Caso particular de onda ionosférica emitida casi verticalmente para provocar una cobertura de señal en un radio de varios miles de kilómetros en torno al punto de emisión. Es la más problemática por la gran dispersión que provoca.

2.5 JAPAN'S DIGITAL AUDIO BROADCASTING (ISDB-TSB)

ISDB-TSB⁵⁰, es un sistema de radiodifusión creado en Japón, destinado a transmitir audio digital y datos de calidad elevada con una fiabilidad alta incluso en la recepción móvil.

El sistema, como se indica en la figura 2.26, es totalmente digital y adopta el mismo estándar del sistema ISDB-T, para la radiodifusión de televisión terrenal digital, en el sistema de codificación, multiplexación y transmisión.

ISDB-T, está descrito por la Asociación de Industrias y Negocios de Radiodifusión (ARIB). El sistema ISDB-TSB fue incluido en la recomendación ITU-R BS.1114-3 en el año 2004.

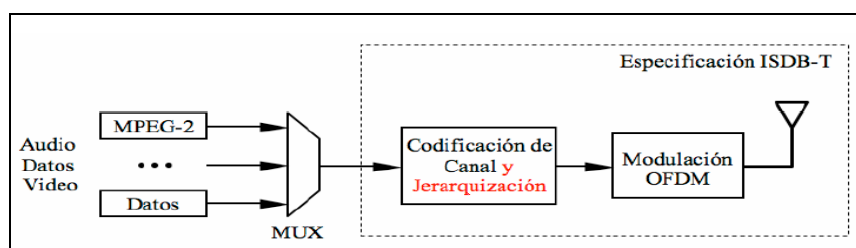


FIGURA 2.26 Diagrama general del sistema ISDB-T [28].

ISDB-TSB puede utilizar métodos de codificación de audio de alta compresión tales como, MPEG-2, AC-3⁵¹ y AAC MPEG-2⁵². El sistema tiene interoperabilidad con

⁵⁰ ISDB-TSB: Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial for Sound Broadcasting.

⁵¹ AC-3: Audio Codec 3.

⁵² AAC MPEG-2: Advanced Audio Coding - Moving Pictures Experts Group 2.

otros sistemas que adoptan los sistemas MPEG-2, como los ISDB-S⁵³, ISDB-T⁵⁴, DVB-S⁵⁵ y DVB-T⁵⁶.

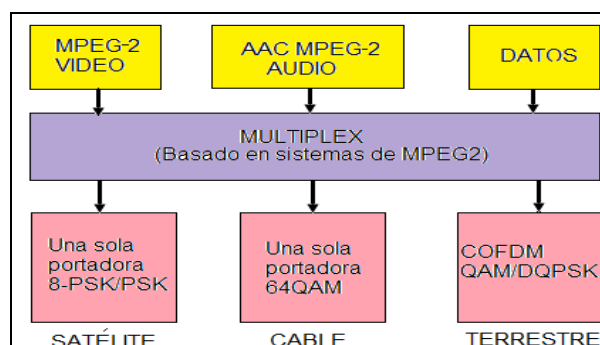


FIGURA 2.27 Servicios en el sistema de radiodifusión japonés [18].

2.5.1 CODIFICACIÓN DE FUENTE

El sistema usualmente emplea AAC MPEG-2. El formato AAC corresponde al estándar internacional ISO/IEC 13818-7⁵⁷ como una extensión de MPEG-2, el cual es un estándar creado por el grupo MPEG.

AAC es un algoritmo de codificación con tasa de 144Kbps y rendimiento superior al MP3, debido a que produce menos recursos del sistema para codificar y decodificar, conservando buena calidad en el sonido.

2.5.2 MULTIPLEXADO DE AUDIO

La Multiplexación está definida en el estándar ISO/IEC 13818-1⁵⁸ de MPEG-2, el cual especifica la multiplexación en una sola trama, de diferentes canales de audio, vídeo

⁵³ ISDB-S: Integrated Services Digital Broadcasting – Satellite.

⁵⁴ ISDB-T: Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial.

⁵⁵ DVB-S: Digital Video Broadcasting – Satellite.

⁵⁶ DVB-T: Digital Video Broadcasting – Terrestrial.

⁵⁷ ISO/IEC 13818-7: Estándar ocupado en el estudio de la codificación AAC.

y datos junto con la información temporal necesaria para permitir la reproducción sincronizada y continua de los mismos.

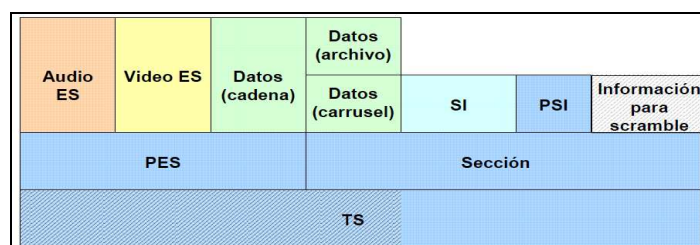


FIGURA 2.28 Formato de multiplexación en el sistema ISDB-T [18].

En los sistemas MPEG-2, todos los contenidos, video/audio/datos son multiplexados en un trama llamada TS, Flujo de transporte (Transport stream).

Como se muestra en la figura 2.28, los contenidos de flujo, tales como video, audio y flujo de datos, son convertidos al formato PES (Packet Elementary Stream) Paquete de Flujo Elemental y finalmente son convertidos al TS y multiplexados; por otro lado, los contenidos que no son del tipo de flujo de datos, son convertidos al formato de Sección⁵⁹ y finalmente convertidos al formato TS y multiplexados.

2.5.3 JERARQUIZACIÓN

ISDB-T presenta diferencias importantes con respecto a los otros sistemas en cuanto al orden y la forma en que los datos son codificados y luego localizados en frecuencia en la modulación OFDM. El esquema se conoce técnicamente como Band Segmented Transmission-OFDM (BST-OFDM).

La idea consiste en dividir la banda de transmisión en segmentos, 13 para el caso de ISDB-T, de los cuales 3 o 1 segmentos, se usan para el caso de ISDB-TSB, en los

⁵⁸ **ISO/IEC 13818-1**: Estándar ocupado en la descripción de sincronización y multiplexado de vídeo y audio.

⁵⁹ Los contenidos tales como SI, PSI, están señalados en el estándar MPEG – 2.

cuales se asignan distintos servicios. Ello tiene dos ventajas importantes frente a OFDM tradicional:

2.5.3.1 Transmisión Jerárquica

La segmentación permite asignar varios segmentos a un servicio o capa⁶⁰ determinado y ajustar los parámetros de transmisión (como la tasa de codificación, la profundidad de entrelazado, etc.) individualmente de acuerdo a las necesidades y objetivos del servicio.

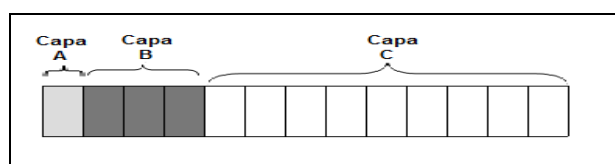


FIGURA 2.29 Asignación de segmentos a capas.

En ISDB-T esto se conoce como “*transmisión jerárquica*”. Así, por ejemplo, un segmento puede bastar para transmitir una señal de audio, mientras que tres son necesarios para video en definición normal, y seis para una señal de video de alta resolución. La segmentación también permite asignar segmentos y optimizar los parámetros de un servicio según su objetivo, como recepción móvil o estática, o según el radio de cobertura deseado, etc.

2.5.3.2 Recepción Parcial

Se trata de un caso especial de la transmisión jerárquica, en que la codificación de canal y entrelazado en frecuencia de una señal es completamente auto contenida dentro del segmento central de la banda de transmisión. Este segmento puede ser recibido y decodificado independientemente de los demás 12, proporcionando así

⁶⁰ A estas capas comúnmente se las denomina como A, B y C.

una solución eficiente para la transmisión a terminales portátiles. El receptor correspondiente es conocido como receptor de un segmento, de costo menor que la versión general del receptor de 13 segmentos. Debido a esto, se puede ofrecer el servicio One-seg, el cual es un servicio portátil único del ISDB-T. Este servicio permite ahorrar frecuencias y costos de infraestructura a la compañía transmisora.

2.5.4 CODIFICACIÓN DE CANAL

Los servicios multiplexados que ingresan a este bloque se los demultiplexa o separa, para realizar la codificación por separado para cada servicio o capa jerárquica (la transmisión no necesariamente debe consistir de tres capas, pueden ser dos o una como para el caso de ISDB-TSB).

La salida del demultiplexor, se somete a dispersión, codificación y entrelazado, para que la señal no sufra errores en el medio transmisión. Después cada una de las capas ingresa a un modulador, para producir símbolos M-QAM que modularán las sub-portadoras OFDM. El número M-ario (4, 16 o 64) puede ser diferente para cada capa jerárquica. ISDB-T además permite utilizar modulación QPSK diferencial (4-QAM diferencial), lo que facilita decodificar la modulación en condiciones de canal muy adversas. Finalmente, la señal combina las tres capas jerárquicas en proporción a los segmentos asignados.

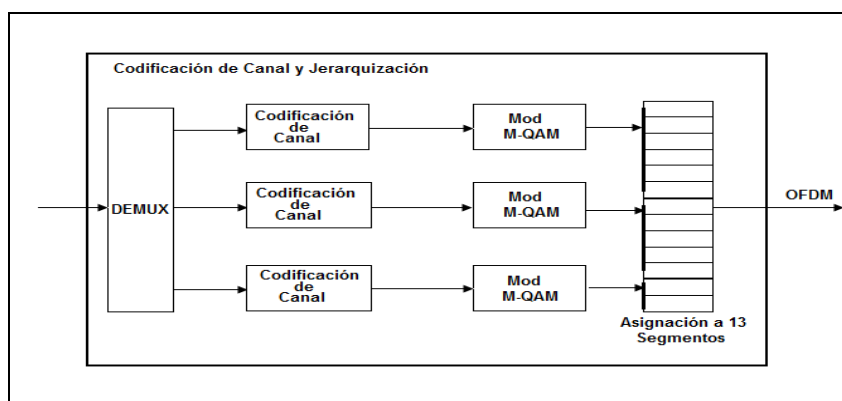


FIGURA 2.30 Diagrama general del bloque de Codificación de Canal y Jerarquización.

2.5.5 MODULACIÓN

El sistema usa OFDM, común para Radio y Televisión. Así, el sistema puede transmitir cualquier programación, usando modulaciones de subportadora QPSK o 64QAM, dependiendo de lo que se va a transmitir.

Así mismo el modulador OFDM de ISDB-TSB, posee entrelazado en frecuencia y tiempo, este último muy importante para combatir el ruido impulsivo, haciendo del sistema muy apto para receptores móviles/portátiles.

2.5.5.1 Transmisión COFDM segmentada

ISDB-T se compone de 13 segmentos e ISDB-TSB de uno o tres segmentos COFDM. Es decir, transmisión de segmento único y transmisión de segmento triple. Como indica la figura 2.31, la recepción será parcial para el caso del receptor ISDB-TSB, cuando se transmiten los 13 segmentos.

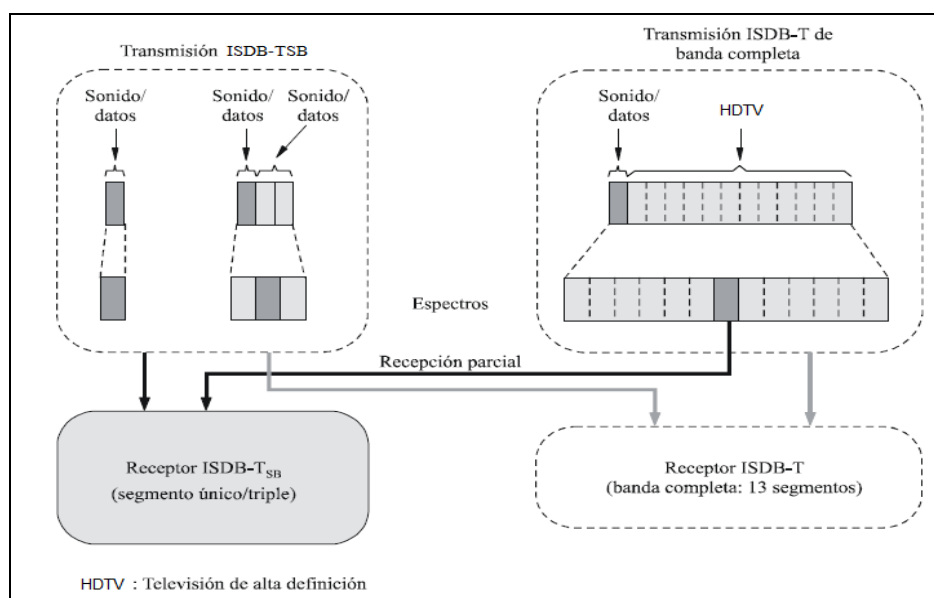


FIGURA 2.31 Concepto de transmisión de ISDB-TSB e ISDB-T de banda completa y su recepción [9].

Esto conlleva a tener compatibilidad no solo para la codificación y decodificación si no que también para el sistema de transmisión. En la figura 2.32 se muestra la relación entre ISDB-T y ISDB-TSB.

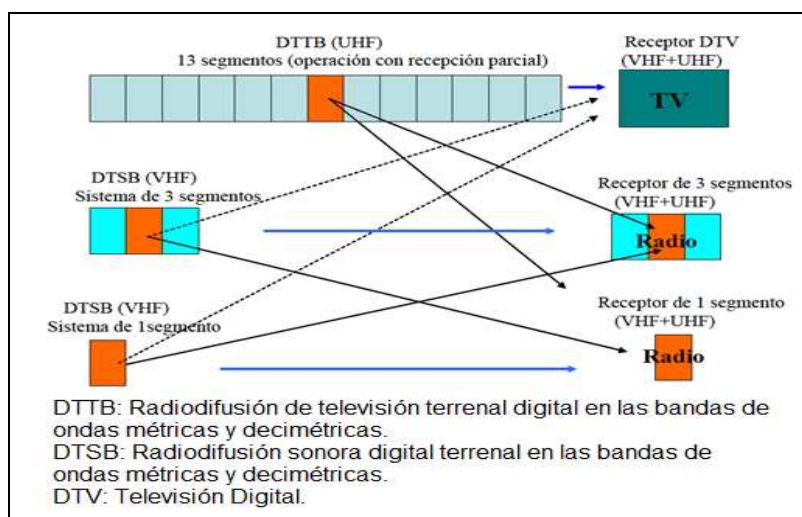


FIGURA 2.32 Compatibilidad entre sistemas ISDB-TSB e ISDB-T [18].

La gráfica indica, que los receptores ISDB-TSB de un segmento y tres segmentos, pueden recibir un segmento tanto de los Sistema de 13 segmentos, de 3 segmentos o de un segmento.

2.5.6 PARAMETROS DEL SISTEMA ISDB-TSB

Las frecuencias de uso en Japón, se concentró inicialmente en la bandas de VHF, aproximadamente desde los 188 hasta los 192 MHz (VHF canal 7). Por lo que, para los radiodifusores en las bandas de AM y FM, podrían seguir operando en forma analógica, hasta la llegada del apagón analógico.

Se definen tres clases de ancho de banda del segmento COFDM. Según el canal de referencia, ya sea de 6, 7 u 8 MHz, el ancho de banda es un catorceavo del ancho de banda del canal de referencia (6, 7 u 8 MHz), esto es 429 KHz (6/14 MHz), 500 KHz (7/14 MHz) y 571 KHz (8/14 MHz). El ancho de banda del segmento COFDM deberá seleccionarse de acuerdo con la situación de frecuencias en cada país. Si el

ancho de banda de un segmento único es 500KHz, el ancho de banda de un segmento triple es aproximadamente de 1,5 MHz.

En la figura 2.33 y 2.34 se observan los espectros de la señal radiada para la transmisión de segmento único y triple segmento respectivamente. En términos estrictos, el ancho de banda de transmisión establecido por la norma ISDB-T es 5,7 MHz. Este ancho de banda contiene el 99% de la energía radiada.

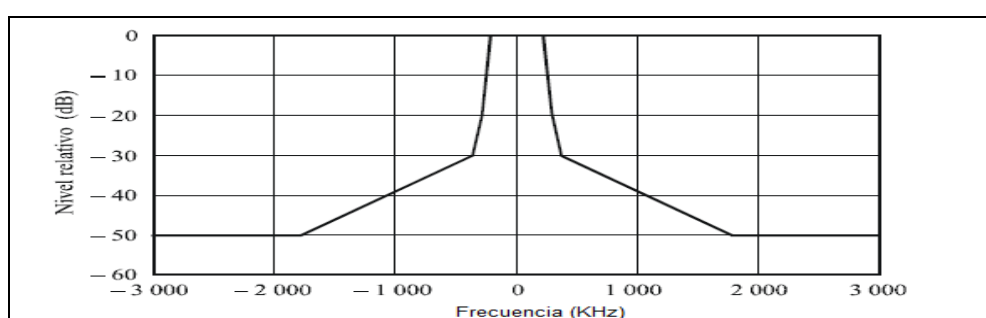


FIGURA 2.33 Máscara del espectro de la señal ISDB-Tsb en segmento único (AB = 500 KHz) [9].

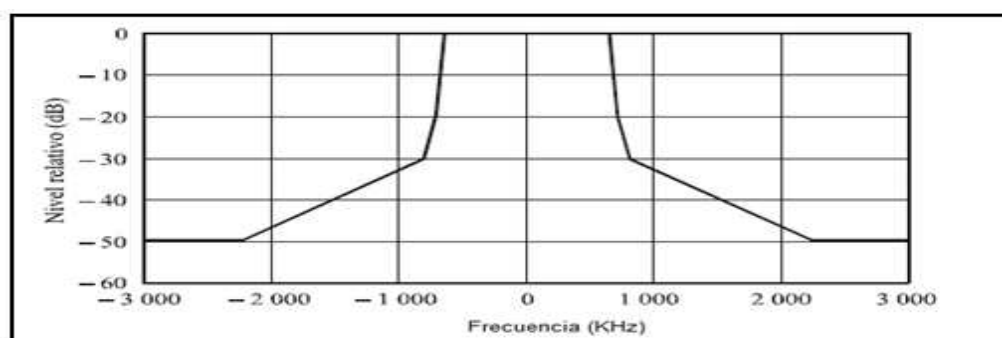


FIGURA 2.34 Máscara del espectro de la señal ISDB-TSB de triple segmento (AB = 1.5 MHz) [9].

2.5.7 MODOS DE TRANSMISIÓN

ISDB-TSB, posee tres modos de transmisión que permiten utilizar una amplia gama de frecuencias para transmisión y cuatro longitudes de intervalo de guarda para el diseño de la distancia entre transmisores en una red de frecuencias única. Estos modos ayudan a mejorar la recepción y evitar los errores producidos por la propagación multitrayecto.

Modos de Trabajo	MODO I	MODO II	MODO III
Numero de segmentos	1 ; 3		
Ancho de Banda de canal de Referencia (MHz)	6 ; 7 ; 8		
Ancho de banda de segmento (KHz)	429 ; 500 ; 572		
Espaciamiento entre portadoras (KHz)	4 ; 5 ; 5,3	2 ; 2,31 ; 3	1 ; 1,2 ; 1,3
Numero de Portadoras de acuerdo al número de segmentos (1 o 3)	109 ; 323	217 ; 649	433 ; 1297
Modulación de portadoras	DQPSK ; QPSK ; 16-QAM ; 64-QAM		
Numero de símbolos por trama	204		
Duración del símbolo útil (Tu) (us)	252 ; 216 ; 188	500 ; 431 ; 377	1000 ; 862 ; 752
Intervalo de Guarda (Tg)	1/4, 1/8, 1/16 ó 1/32 de Tu		
Duración del Símbolo Total	Tu + Tg		
Utilización efectiva del recurso de frecuencias	Posibilidad de redes de frecuencia única (SFN) para reducir el número de frecuencias en uso.		
Compatibilidad	Se requiere máxima compatibilidad para reducir costos.		

TABLA 2.9 Principales Características del sistema ISDB-TSB [9].

En la tabla 2.9 se resumen algunas de las características importantes de este sistema. Para encontrar el ancho de Banda total para un canal de 6 MHz, con 3 segmentos y espaciamiento de portadora en modo 2 de 3KHz se debe hacer:

$$\text{Ancho de banda en un segmento} = \frac{6\text{MHz}}{14} = 429 \text{ KHz} \quad (2.3)$$

$$\text{Espaciado entre portadoras} = \frac{429\text{KHz}}{108} = 4\text{KHz} \quad (2.4)$$

$$\text{Ancho de Banda Total} = 429\text{KHz} \times 3 \text{ segmentos} + 4\text{KHz} = 1.3\text{MHz} \quad (2.5)$$

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESTANDARES DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL

3.1. ASPECTOS TÉCNICOS A TENER EN CUENTA PARA LA EVALUACIÓN DE LOS DISTINTOS SISTEMAS.

3.1.1. CALIDAD DE AUDIO NO DEGRADADA POR EL CÓDEC

Medida de la percepción subjetiva de la señal de audio comprimida y codificada, procedente de la fuente de entrada básica, sin ruido inducido ni otros problemas de transmisión.

3.1.2. FIABILIDAD DEL CIRCUITO DE TRANSMISIÓN

Calidad subjetiva y objetiva de la señal de audio proporcionada por el sistema en condiciones razonables de transmisión y recepción reales.

Esto tiene en cuenta la capacidad de los parámetros de diseño del sistema, tales como la forma de onda tras la modulación, las técnicas de corrección de errores, etc., de proporcionar un comportamiento satisfactorio para diversas condiciones de propagación; dichas condiciones de propagación deben especificarse.

3.1.3. ZONA DE COBERTURA Y DEGRADACIÓN GRADUAL

Zona de cobertura real estimada del sistema para un nivel de potencia dado en diversas condiciones de propagación. La zona de cobertura viene determinada por los segmentos de zona de superficie en los que la señal decodificada es aceptable para el mercado al que se destina.

3.1.4. COMPATIBILIDAD CON LOS TRANSMISORES NUEVOS Y EXISTENTES⁶¹

Capacidad para transmitir eficazmente las señales del sistema utilizando:

- Las combinaciones de transmisor y antena actualmente disponibles sin necesidad de modificar los equipos o con una modificación muy pequeña.
- Los equipos de transmisor y de antena específicamente diseñados para transmitir dichas señales.
- Los equipos de transmisor y de antena específicamente diseñados para transmitir esas señales y los formatos analógicos existentes.
- Capacidad de tales configuraciones para funcionar con niveles aceptables de emisiones no esenciales.

3.1.5. CONSIDERACIONES SOBRE LA PLANIFICACIÓN DE CANALES

El actual sistema de disposición de canales y las reglas de interferencia vigentes constituirán inicialmente una limitación importante, incluso si los estudios y adelantos realizados permiten introducir cambios en el futuro mediante el proceso reglamentario pertinente. Por consiguiente, es necesario evaluar las posibilidades del sistema teniendo en cuenta las reglas actuales relativas a ocupación de ancho de banda, emisiones fuera de banda, emisiones no esenciales, efectos de interferencia, etc.

3.1.6. FUNCIONAMIENTO DE LA RED A UNA SOLA FRECUENCIA

Deberá evaluarse la capacidad de cualquier nuevo sistema para funcionar como una red a una sola frecuencia. Muchos organismos de radiodifusión lo consideran una característica muy conveniente.

⁶¹ Muchos organismos de radiodifusión desearán o necesitarán utilizar su planta de radiodifusión analógica existente para ofrecer los nuevos servicios digitales durante bastante tiempo.

3.1.7. COSTO Y COMPLEJIDAD DEL RECEPTOR

Deben considerarse las posibilidades de los receptores básicos y avanzados. El costo del receptor está relacionado evidentemente con otros criterios; será preciso realizar una estimación aproximada del costo para cada criterio y variante.

3.1.8. INTERFERENCIA

Calidad subjetiva y objetiva de la señal de audio proporcionada por el sistema cuando funciona con interferencia cocanal y/o de canal adyacente procedente de fuentes digitales o analógicas.

Debe tenerse en cuenta la capacidad de la señal para superar la interferencia en sus propias zonas de servicio y su tendencia a provocar interferencia a otras emisiones de radiodifusión fuera de esas zonas.

3.1.9. SINTONÍA RÁPIDA Y ADQUISICIÓN DE CANAL

Los oyentes están acostumbrados a que no haya ningún retardo, o éste sea muy pequeño, cuando encienden o sintonizan un receptor radiofónico. Por lo tanto, en el diseño del sistema se debe considerar:

- La facilidad con la que el oyente puede seleccionar la estación o señal deseada.
- La velocidad para reconocer una petición de selección o de cambio de canal.
- La velocidad para adquirir la señal de audio.
- Los silencios (si existieren) que se producen en la señal de audio al cambiar a una fuente alternativa o más fuerte de la señal deseada.

3.1.10. COMPATIBILIDAD CON LOS FORMATOS ANALÓGICOS EXISTENTES

Durante la fase de transición entre el actual entorno de radiodifusión analógica y el futuro entorno digital, los servicios digitales y analógicos deberán coexistir.

Para facilitar esta coexistencia deben considerarse algunos aspectos:

- La interferencia cocanal y de canal adyacente (véase el criterio 3.1.8);
- La capacidad de los organismos de radiodifusión para mantener la actual audiencia de los sistemas analógicos mediante la radiodifusión simultánea (simulcasting) mientras se establece la base de receptores digitales;
- La capacidad del sistema digital para funcionar dentro de las actuales limitaciones que impone el marco reglamentario.

3.1.11. UTILIZACIÓN EFICAZ DEL ESPECTRO

El sistema debe utilizar el espectro radioeléctrico de manera más eficaz que los servicios analógicos existentes. Un sistema más eficiente desde el punto de vista de la utilización del espectro deberá proporcionar una calidad equivalente con una anchura de banda inferior o una mejor calidad para la misma anchura de banda.

3.1.12. NORMA ÚNICA

Es comúnmente aceptado el hecho de que todos los sistemas se beneficiarán de la utilización de parámetros optimizados para distintas bandas de frecuencias o en diferentes condiciones de propagación; onda de superficie y onda ionosférica, por ejemplo. Sin embargo, una norma única deberá:

- Utilizar los mismos bloques básicos fundamentales (por ejemplo, sistema de codificación de audio), aunque con parámetros de funcionamiento potencialmente distintos (por ejemplo, velocidad binaria) para diferentes circunstancias de propagación;
- Permitir el diseño de un receptor que admita automáticamente todos los modos de funcionamiento sin que sea necesario duplicar los dispositivos del mismo.

3.1.13. COMPARACIÓN CON LOS ACTUALES SERVICIOS DE MODULACIÓN ANALÓGICA

Conjunto de mediciones representativas que deben realizarse en los sistemas analógicos existentes de manera que puedan efectuarse comparaciones significativas con los sistemas sometidos a prueba.

3.1.14. RADIODIFUSIÓN DE DATOS

Capacidad para prestar servicios de datos adicionales junto con los servicios de audio o en vez de los mismos. Tales servicios de datos pueden estar relacionados o no con el servicio de audio.

3.1.15. MODULACIÓN

Capacidad de adaptación a un ancho de banda más amplio, paso a paso y con agrupación de canales.

3.2. COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RADIODIFUSION DIGITAL TERRESTRE

3.2.1. DAB (Digital Audio Broadcasting)

3.2.1.1. Tecnología

A diferencia de otras normas digitales, DAB fue desarrollado principalmente para optimizar el uso del espectro radiofónico y es totalmente digital. Transmite en la banda III (174–240 MHz) y la banda L (1452–1492 Mhz). Hasta ahora estas bandas no han sido usadas para la radiodifusión, no estando siempre disponibles. Por ejemplo, la banda L no está disponible en los Estados Unidos porque está reservada para uso militar.

En la radiodifusión análoga cada emisora en una área determinada tiene un transmisor y una frecuencia propia. El sistema DAB combina compresión y

multiplexing para permitir la difusión de varios programas simultáneamente con un solo transmisor y una única frecuencia. En principio eso implica un ahorro económico ya que varias emisoras pueden transmitir con un solo transmisor, compartiendo los costos de adquisición y mantenimiento. En la práctica es común que los transmisores sean propiedad de terceros, quienes se ocupan de su mantenimiento y los alquilan a múltiples emisoras.

DAB está basado en estándares públicos que permiten que cualquiera pueda desarrollar servicios y aplicaciones nuevos y compatibles. Hay dos principales variantes de DAB. DAB+ es una nueva versión de DAB que ofrece mayor compresión, mejor calidad de audio, y un uso más eficiente del espectro. Con DMB (Digital Multimedia Broadcasting) se puede transmitir audio, video y datos a dispositivos móviles como teléfonos.

3.2.1.2 Transición

DAB es un sistema totalmente digital que opera en una banda de frecuencias distinta a las frecuencias de la radio AM o FM. En consecuencia, la transición a DAB requiere que las emisoras transmitan con DAB y manteniendo sus transmisiones análogas para poder llegar a audiencias que aún no cuentan con receptores DAB. Este periodo de transición puede durar muchos años ya que requiere que se reemplacen todos los receptores.

3.2.1.3. Costo para las emisoras

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

3.2.1.4. Receptores

DAB es el sistema más desarrollado en el mundo y según el World Dab Forum/World DMB Forum, una asociación que representa la industria, hay 980 modelos de receptores en el mercado a precios que comienzan en 32 euros.

Los receptores DAB consumen mucha energía, esto plantea un problema importante para los receptores portátiles. Por ejemplo, un receptor híbrido FM/DAB consume baterías 6 a 12 veces más rápido con DAB que con FM.

3.2.1.5. El Sistema DAB en el mundo

Aunque DAB es el sistema de radiodifusión digital terrestre más desarrollado, solo una media docena de países en el mundo tienen un sistema de transmisión nacional desarrollada y solo dos, el Reino Unido y Corea del Sur, tienen un número importante de receptores.

3.2.2. DRM (Digital Radio Mondiale)

3.2.2.1. Tecnología

En una primera instancia la tecnología fue desarrollada para la radiodifusión internacional en onda corta pero también funciona con las frecuencias en onda media que utilizan las emisoras AM locales. En todas las bandas, la radio AM análoga tiene una mejor propagación porque la señal sigue la curvatura de la Tierra. En el caso de la radio AM en onda media, el alcance suele ser cientos de kilómetros, mucho mayor a la radio FM. Sin embargo, la mejor propagación de la señal tiene como consecuencia una pobre calidad de transmisión. DRM pretende ofrecer la propagación de la radio AM, con una calidad de audio igual a la FM. Además, DRM puede funcionar en modo *híbrido*, lo que permite que una emisora transmita su señal análoga en la misma frecuencia de siempre y simultáneamente su señal digital para los que tienen receptores digitales.

DRM Plus, una nueva variante de DRM que funciona en la banda FM, está en desarrollo y se espera su lanzamiento para 2009. DRM ofrecerá calidad CD,

multiplexing (múltiples programas simultáneamente en la misma frecuencia) y hasta video móvil.

DRM es un estándar abierto y cualquiera puede modificar el software para desarrollar aplicaciones para, por ejemplo, agregar nuevas funciones sin pedir permiso o pagar licencias. Al igual que el sistema DAB, el audio de DRM es basado en el estándar MPEG.

3.2.2.2. Transición

El hecho que DRM use las mismas frecuencias de la radio AM y funcione en modo híbrido facilita la introducción de la radiodifusión pues los receptores existentes seguirán funcionando, aunque para disfrutar de la mejor calidad de audio o de servicios adicionales, se necesitaría un receptor digital.

Desde el punto de vista del regulador la transición también es simple. No hay que reorganizar el uso del espectro radiofónico, sino solo autorizar un nuevo uso de las frecuencias ya asignadas.

3.2.2.3. Costo para las emisoras

DRM es un sistema económico que fue desarrollado para aprovechar de equipos de transmisión existentes, evitando así una mayor inversión. El principal costo es una computadora para hacer la codificación digital.

3.2.2.4. Receptores

No hay muchos receptores en el mercado. Los que hay son principalmente para el mercado de los radioaficionados con interés en la radio internacional en onda corta.

3.2.2.5. El sistema DRM en el mundo

Las principales emisoras que utilizan DRM son emisoras internacionales en onda corta e incluyen Vatican Radio, BBC World Service, Deutschlandradio, HCJB, Radio

Canada International, Deutsche Welle, Radio Netherlands, Radio Telefís Éireann (Irlanda), Radio Exterior de España, Rai (Italia) y Radio New Zealand International.

El Reino Unido está estudiando la posibilidad de introducir DRM en onda media en 2012 y la BBC ya hizo pruebas con una radio local en Devon, Inglaterra.

3.2.3. HD Radio

HD Radio es un estándar de la empresa Ibiquity Digital Corporation y el único sistema digital de radiodifusión terrestre sonora autorizado en los Estados Unidos. A diferencia de DAB y DRM, iniciativas de radios públicas europeas, HD fue una iniciativa de las radios privadas norteamericanas. Los dueños de Ibiquity incluyen 15 de las 20 cadenas de radiodifusión más importantes.

3.2.3.1. Tecnología

Similar a DRM, HD Radio opera en bandas de la radiodifusión tradicional, en ese caso la de AM (530 kHz a 1710 kHz) y FM (87.5 Mhz a 108.0 MHz). En ambas bandas ofrece mejor calidad de audio, multiplexing de hasta 4 canales digitales en el mismo espectro que ocupa una emisora análoga, servicios adicionales como texto o imágenes, y es un sistema híbrido que transmite señales digitales simultáneamente con la señal análoga.

Una de las principales diferencias entre HD Radio, DAB y DRM es que los últimos son estándares abiertos controlados por consorcios sin fines de lucro, mientras HD Radio es un estándar secreto controlado por Ibiquity. Fabricantes de equipos de transmisión o recepción tienen que pagar una licencia a Ibiquity para incorporar la tecnología.

Las emisoras tienen que comprar licencias para el software. Y cualquier desarrollo futuro del sistema será controlado por Ibiquity.

3.2.3.2. Transición

HD Radio usa las mismas bandas y frecuencias de la radio AM y FM y funciona en modo híbrido, lo que facilita la transición porque los oyentes no tienen que comprar un nuevo receptor para seguir captando la señal análoga.

Desde el punto de vista del regulador la transición también es simple. No hay que reorganizar el uso del espectro radiofónico, sino solo autorizar un nuevo uso de las frecuencias ya asignadas.

3.2.3.3. Costo para las emisoras

HD Radio requiere la compra de nuevos equipos de transmisión y la compra de una licencia para el software, que es propiedad de Iqity. En los Estados Unidos la licencia del sistema básico, que permite la difusión simultánea de una señal digital igual a la señal análoga cuesta entre USD 5.000 y USD 10.000. Para poder transmitir más señales digitales (hasta 4) u ofrecer servicios adicionales las emisoras tienen que comprar licencias adicionales. El costo total de equipos y licencias varía entre USD 30.000 y USD 100.000. En los EEUU las radios públicas pudieron acceder a licencias a precios reducidos.

3.2.3.4. Receptores

Hay muchos modelos de receptores a la venta en los Estados Unidos. Sus precios empiezan a USD 100. Hasta el momento no hay receptores portátiles en el mercado porque HD Radio, igual a otros sistemas, consume demasiada energía. Un prototipo pequeño con auriculares y sin parlantes presentado a los principios del 2008 consumía 2 baterías alcalinas en 2 horas.

3.2.3.5. HD Radio en el Mundo

HD Radio es el estándar adoptado por los Estados Unidos donde unas 1.700 emisoras transmiten en modo híbrido. Unas nueve emisoras en la frontera con los EEUU transmiten en HD para sus oyentes en el país vecino y Filipinas adoptó el sistema a finales de 2007. Otros países estudian la posibilidad.

3.2.4. ISDB-TSB

ISDB-TSB (Transmisión Digital de Servicios Integrados-Terrestre para la Transmisión de Sonido), el sistema fue desarrollado para la Transmisión de Sonido Digital terrestre (DSB) y fue incluido en la Recomendación de ITU-R BS.1114-3 en el 2004. La especificación del sistema fue desarrollado en octubre de 1998 por la Asociación de Industrias y Negocios de la Radio (ARIB). Los experimentos y pruebas de campo fueron llevados a cabo en Tokio, para verificar el rendimiento del sistema en 1999 y la especificación final fue aprobada como un estándar japonés en noviembre de 1999.

3.2.4.1. Tecnología

El Sistema digital ISDB-TSB, se destina para proporcionar radiodifusión sonora con calidad elevada y con una alta fiabilidad incluso en la recepción móvil. El sistema se caracteriza por dotar de flexibilidad, capacidad de expansión y la utilización de elementos para la radiodifusión multimedia, que usan las nuevas redes terrenales. El sistema es robusto, utiliza modulación OFDM, entrelazado bidimensional en frecuencia-tiempo y códigos de corrección de errores concatenados. La modulación OFDM utilizada en el sistema se denomina transmisión segmentada de banda (BST, band segmented transmission) - OFDM. El sistema tiene elementos comunes con el sistema ISDB-T para la radiodifusión de televisión terrenal digital en capa física. Algunas de las portadoras se asignan a portadoras TMCC que transmiten la información sobre los parámetros de transmisión para el control del receptor. El Sistema puede utilizar métodos de codificación de audio de alta compresión, tales como el AAC MPEG-2. Y, además, el sistema adopta los sistemas MPEG-2. Tiene una relación de elementos e interoperabilidad con otros muchos sistemas que adoptan los sistemas MPEG-2, como los ISDB-S, ISDB-T, DVB-S y DVB-T.

3.2.4.2 Transición

El Sistema ISDB-Tsb tiene elementos comunes con el sistema ISDB-T para la radiodifusión de televisión terrenal digital en capa física. El ancho de banda de un bloque OFDM denominado segmento OFDM es aproximadamente 500 kHz. El Sistema ISDB-Tsb consiste en uno o tres segmentos OFDM por lo que el ancho de banda del sistema es alrededor de 500 KHz o de 1,5 MHz. Se trata de un sistema de banda estrecha para la transmisión de un programa de sonido como mínimo. Por tanto los organismos de radiodifusión pueden tener su propio canal RF en el cual seleccionar independientemente los parámetros de transmisión. ISDB-T e ISDB-TSB están diseñados para el uso en las bandas VHF y UHF japonés:

Banda	Rango de Frecuencias	Uso actual en Japón
VHF Band II	90 - 108 MHz	Transmisión de TV
VHF Band III	170 - 222 MHz	Transmisión de TV
UHF Band IV	470 - 585 MHz	Transmisión de TV
VHF Band V	585 - 770 MHz	Transmisión de TV

TABLA 3.1 Bandas usadas en el sistema japonés.

3.2.4.3 Receptores

Un centro de prueba de receptores fue instalado en la oficina del DRP (Digital Radio Promotion) para verificar el funcionamiento de los receptores y para apoyar en los esfuerzos de desarrollo.

Diferentes tipos de receptores de prueba han sido desarrollados como uso experimental para después ser comercializados al usuario. Los receptores de prueba incluyen; receptores con tarjeta para PCs, que tienen una antena en el borde de la tarjeta PCMCIA, receptores portátiles (de 1-sólo segmento) para el DRP y receptores PDA (Assistant Digital personal) dónde un adaptador de radio digital está montado.

Además de los diferentes tipos de receptores de prueba mencionados anteriormente, existen otros tipos de receptores que pueden esperarse en un futuro próximo:

- Receptores en teléfono celulares
- Receptores de tipo de computadora (palmtop).
- Receptores del tipo estereofónicos para automóviles.

3.2.4.4 ISDB-TSB Radio en el Mundo

Siguiendo un poco la línea de interpretación industrial hecha hasta el momento, podría considerarse que Japón opta por un estándar propio como una forma no tanto de competir con los demás si no como una forma de protección del propio mercado y de la propia industria. Y aunque esté solamente en Japón (ahora en Brasil y en algunos países del Mercosur, para el caso de la televisión digital), beneficia a los fabricantes de receptores, pues no deben preocuparse por ningún otro estándar.

3.3 COMPARACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL.

No existe un único estándar para la distribución de la radio digital. El uso de la banda de frecuencias puede variar según el área geográfica, los canales pueden ser utilizados de diferentes maneras, pero la tecnología subyacente es fundamentalmente la misma.

En el anexo 1, se presentan las tablas con las características de cada uno de los estándares, la UIT, ha separado los estándares de acuerdo a la frecuencia que trabajan.

DAB, IBOC-FM e ISDB-Tsb, son sistemas de radiodifusión sonora digital terrenal para receptores en vehículos, portátiles y fijos en la gama de frecuencias 30-3000 MHZ. Mientras que DRM e IBOC-AM, son sistema para radiodifusión sonora digital en las bandas de radiodifusión por debajo de 30 MHz.

En la tabla 3.2, se presenta un resumen de todas las tecnologías, con sus principales características.

PARAMETROS	Eureka 147	IBOC-AM	IBOC-FM	DRM	ISDB-TSB
Bandas	VHF-III, Banda L	MF	VHF-FM	LF, MF, HF	VHF, UHF
Origen	Europa	Estados Unidos		Europa	Japón
Sistema Terrestre	Si	Si		Si	Si
Sistema Satelital	Posible	No		No	Posible
Sistema Híbrido	No	Si		Si	No
Sistema de Banda ancha o Banda estrecha.	Banda Ancha 1.5MHz	Banda Estrecha 18/20 KHz	Banda Estrecha 200KHz	Banda Estrecha 9-18KHz	Banda ancha 0.4 ó 1.3MHz
Modulación	COFDM (DQPSK, QPSK)	COFDM (16-QAM, 64-QAM)		COFDM (16-QAM, 64-QAM)	COFDM (DQPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM)
Velocidades de datos máximas	1.2 Mbps	Aprox. 20 – 40Kbps	Aprox. 98Kbps	Aprox. 24Kbps	0.3 – 5.3 Mbps
Multiplex de servicios	Si	Si		Si	Si
Método de codificación de audio	MPEG-1 capa 2 y MPEG-2 capa 2	PAC		MPEG-4, AAC	MPEG-2 capa 2 MPEG-2 AAC, AC-3
Calidad de audio	“CD” a 192 – 225Kbps	“FM” a 20-40Kbps	“CD” a 98Kbps	“FM mono” a 24Kbps	MPEG-2 AAC: “CD” a 144Kbps
Infraestructura	Sitios FM/TV	Sitios AM	Sitios FM	Sitios AM	Sitios FM/TV
Estandarización	Extensa	Estándar Limitado		Alto	Algo
Receptores disponibles	Si	Si		No	Si
Sistemas Trabajando	Si	Si		Si	Japón, y países de Sudamérica

TABLA 3.2 Tabla comparativa de los estándares de radiodifusión digital [15].

En este sentido, los sistemas DAB e ISDB-TSB, tienen mejor calidad y servicios pero ocupan mayor ancho de banda en diferentes bandas que no son AM y FM. Por el contrario los sistemas IBOC y DRM ocupan el mismo ancho de banda, a las mismas frecuencias, pero la calidad no supera a los sistemas de banda ancha. Para tener una buena calidad de señal IBOC requiere 20 KHz en AM y DRM requiere 18 KHz en AM.

3.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA UNO DE LOS ESTANDARES

La migración a radiodifusión digital es un proceso en el que se deben tener presentes factores técnicos que deben analizar los entes reguladores para elegir el estándar que más se acomode a la realidad del país, tanto desde el punto de vista del radiodifusor como la población oyente, ya que esto implica un cambio paulatino de los transmisores y receptores. Por lo que el presente estudio analiza algunas de las ventajas y desventajas de cada uno de los estándares de radiodifusión digital, de acuerdo a los estudios hechos en otros países.

3.5.1 DAB

3.5.1.1 Ventajas

- DAB es una tecnología madura, que ha sido implementada en Reino Unido, Alemania, Canadá y probada en otras partes de Europa.
- DAB está definida por muchos organismos como son la ITU, ETSI, Celelec e IEC.
- DAB puede ser puesto en práctica para una gama de aplicaciones, en transmisiones en área amplia o en la entrega local de audio y servicios de datos para el receptor móvil y fijo. DAB puede ser entregado terrestremente, vía el satélite, por cable o una mezcla de terrestre y satélite.

- DAB está diseñado para ser utilizado en una amplia gama del espectro, desde 30 - 3000 MHz, pero sólo ha sido implementado usando VHF Banda III (Región 1, Europa) y desde 1452 - 1492 MHz segmento de banda L.
- DAB utiliza el sistema de modulación COFDM que proporciona una transmisión robusta frente a caminos de multitrayectoria y puede proveer alta disponibilidad de cobertura.
- DAB usa tecnologías maduras como son los sistemas de codificación de audio MPEG-1 capa II y MPEG-2 capa II y modulación COFDM, el cual es usado en el sistema DVB-T. Esto debería conducir a soluciones de bajo costo en chips para receptores.
- Un número creciente de receptores DAB están ahora disponibles para autos, el hogar así como para versiones portátiles.
- En la radiodifusión análoga cada emisora en un área determinada tiene un transmisor y una frecuencia propia. El sistema DAB combina compresión y multiplexación, para permitir la difusión de varios programas simultáneamente con un solo transmisor y una única frecuencia. En principio eso implica un ahorro económico ya que varias emisoras pueden transmitir con un solo transmisor, compartiendo los costos de adquisición y mantenimiento. En la práctica es común que los transmisores sean propiedad de terceros, quienes se ocupan de su mantenimiento y los alquilan a múltiples emisoras.

3.5.1.2 Desventajas

- Los sistemas de codificación de audio MPEG-1 capa II y MPEG-2 capa II, no son muy óptimos comparados con los sistemas actuales. Esto conlleva a la necesidad de adaptar o reemplazar los receptores, para implementar los nuevos servicios.
- Si bien una serie de receptores están disponibles en el mercado, generalmente son considerados como demasiado costosos para el público, especialmente cuando se compara con el receptor AM y FM que utilizan actualmente muchos oyentes. Esta es una cuestión para todos los sistemas

de radio digital. Con la expansión del sistema DAB se espera una reducción del costo de receptores.

- El sistema DAB requiere su propia banda para transmisiones, y eso implica abrir nuevas estaciones de radio (concesiones/permisos), lo cual, en principio suena atractivo, pero genera incertidumbre sobre quiénes serían los beneficiados, pues si bien la sociedad en general esperaría que se abrieran las puertas para nuevas voces, nuevos contenidos, nuevos programas, nuevos servicios, la actual industria radiofónica sería el principal ponente, pues a ellos les conviene solicitar que al transitar hacia lo digital se reemplacen sus actuales concesiones radiofónicas analógicas por digitales, lo que a su vez puede incidir en el aumento de la diversidad de sus servicios que esta nueva tecnología permite.
- DAB usa espectro que algunas veces es usado para servicios de televisión analógica o digital (VHF Banda III), Servicios de Defensa (superior a VHF Banda III) y servicios de radiocomunicaciones (Banda L). Si un modelo de conversión se utiliza para la introducción de la radio digital para encontrar un espectro suficiente para la conversión de todos los servicios de radiodifusión analógica a la digital no será fácil, especialmente en banda L. requerirá más transmisores para proporcionar cobertura de área amplia y adecuada recepción en las zonas urbanas.
- DAB requiere la compra de un nuevo y costoso transmisor, aunque el costo de su compra, operación y mantenimiento puede ser compartido por varias emisoras. En un período de transición, que puede ser de muchos años, se requieren transmisores DAB y análogos.
- Transmisiones DAB requieren más energía eléctrica que transmisiones análogas.

3.5.2. IBOC

3.5.2.1 Ventajas

- Es un sistema que puede transmitir simultáneamente servicios analógicos y digitales, usando la actual asignación de frecuencias (es decir no requiere de espectro adicional).
- El sistema permite a las estaciones de radiodifusión maximizar el uso de la infraestructura existente; reduciendo así al mínimo los costos de actualización;
- Permite a los oyentes migrar de forma progresiva de la forma analógica a la digital.
- Ofrece una mayor calidad de audio, y una gama de servicios información.
- El sistema evita fallas de recepción abrupta, común en algunos sistemas digitales en el borde del área de cobertura.
- Al final del período de transmisión simultánea, la robustez de la señal se incrementa significativamente, proporcionando las opciones para reducir la potencia de transmisión para la misma área de cobertura.
- IBOC-FM pueden proporcionar servicios auxiliares de audio, tales como sonido envolvente, o varios canales de audio.
- En ambas bandas ofrece mejor calidad de audio, multiplexación de hasta 4 canales digitales en el mismo espectro que ocupa una emisora análoga y servicios adicionales como texto o imágenes.

3.5.2.2 Desventajas

- El diseño final del sistema todavía no está completo, la calidad de audio de la IBOC-AM se encuentra actualmente en revisión.
- La banda AM en los EE.UU. es muy congestionada incluso en horario nocturno y limitada por la interferencia. Como consecuencia la FCC no ha aprobado aún la operación en horario nocturno de IBOC-AM. Aunque la banda australiana de Medias Frecuencias tiene condiciones menos limitadas, los ensayos en condiciones de Australia se requieren para confirmar la operación nocturna.

- El sistema IBOC no es compatible con el estándar analógico estéreo AM. En consecuencia, las radiodifusoras que migren a IBOC-AM tendrán que volver a la operación monofónica del servicio analógico.
- El sistema IBOC está limitado en la capacidad de datos comparado con los otros sistemas de radio de banda ancha.
- HD Radio es un estándar controlado por Ibiquity. Fabricantes de equipos de transmisión o recepción tienen que pagar una licencia a Ibiquity para incorporar la tecnología.
- HD Radio requiere la compra de nuevos equipos de transmisión y la compra de una licencia para el software, que es propiedad de Ibiquity. En los Estados Unidos la licencia del sistema básico, que permite la difusión simultánea de una señal digital igual a la señal analógica cuesta entre USD 5.000 y USD 10.000.
- Para poder transmitir más señales digitales (hasta 4) u ofrecer servicios adicionales las emisoras tienen que comprar licencias adicionales. El costo total de equipos y licencias varía entre USD 30.000 y USD 100.000.

3.5.3. DRM

3.5.3.1 Ventajas

- El sistema tiene la capacidad para hacer frente a la amplia gama de condiciones de propagación encontradas en las bandas de Baja frecuencia, Media Frecuencia y Alta Frecuencia de radiodifusión, a través de una selección adecuada del modo de transmisión.
- Potencial para mejorar significativamente la calidad de sonido y fiabilidad de la señal de los servicios de radiodifusión que operan por debajo de 30 MHz.
- Capacidad de transportar audio y / o datos con flexibilidad para el intercambio entre la calidad de audio, capacidad de datos y la robustez de las señales.
- Compatible con la actual separación entre canales utilizados para modulación en amplitud (Medias frecuencias - AM) de radiodifusión y Altas Frecuencias

en todo el mundo, proporcionando así alcance amplio para la adopción del sistema.

- Los sitios existentes y, en algunos casos la infraestructura, pueden ser utilizados para la transmisión de servicios digitales.
- Tiene posiblemente el más eficiente sistema de codificación de audio de todos los sistemas de radio digital, MPEG-4 AAC.
- Además, DRM puede funcionar en modo híbrido, lo que permite que una emisora transmita su señal analógica en la misma frecuencia de siempre y simultáneamente su señal digital para los que tienen receptores digitales. Así mismo tiene el potencial para la introducción de nuevos servicios digitales, una vez que los servicios analógicos han dejado de operar
- DRM es un estándar abierto y cualquiera puede modificar el software para desarrollar aplicaciones para, por ejemplo, agregar nuevas funciones sin pedir permiso o pagar licencias.
- DRM es un sistema económico que fue desarrollado para aprovechar los equipos de transmisión existentes, evitando así una mayor inversión. El principal costo es una computadora para hacer la codificación digital.

3.5.3.2 Desventajas

- No se han establecido la viabilidad y repercusiones prácticas de operación simultánea, en la cual la señal digital se transmite adyacentemente en frecuencia a la actual señal analógica en Amplitud Modulada.
- La disponibilidad de espectro para servicios adicionales en la banda de AM es limitado debido al funcionamiento de los actuales servicios analógicos AM.
- El sistema DRM está limitado en la capacidad de datos comparado con los otros sistemas de radio de banda ancha.
- No hay muchos receptores en el mercado. Los que hay son principalmente para el mercado de los radioaficionados con interés en la radio internacional en onda corta.

3.5.4. ISDB-TSB

3.5.4.1 Ventajas

- Sistema avanzado diseñado para la entrega de servicios de televisión y radio fija, portátil y móvil.
- Sistema diseñado para bajo consumo de energía en los receptores y para permitir fabricar dispositivos portátiles a baterías.
- ISDB-Tsb es compatible con el sistema ISDB-T. Tiene compatibilidad no solo para la codificación/decodificación si no que también para el sistema de transmisión.
- Adoptando el sistema de transmisión OFDM, es posible la construcción de una red de Isofrecuencia (SFN). Como resultado, es posible reducir frecuencias para transmisores de relevo.
- El sistema tiene una nueva tecnología, llamada “Sistema de Transmisión Segmentada OFDM”, o llamado modo de transmisión jerárquico. Como resultado, es posible el servicio fijo / móvil y portátil en un mismo canal.
- El sistema tiene el servicio One-seg, el cual es un servicio portátil único de ISDB-T, usando 1 segmento de los 6MHz, por lo que no necesita otro transmisor, permite ahorrar frecuencias y costos de infraestructura a la compañía transmisora.
- El receptor One-seg, opera con una recepción de banda muy estrecha, esta operación ahorra consumo de energía. Como resultado, se obtiene un largo tiempo de recepción con baterías.
- La transmisión jerárquica ofrece un mejor aprovechamiento del espectro de frecuencia; en un canal son posibles múltiples servicios, y no se necesita un canal adicional.
- Receptores comunes de un segmento para TV digital y radio han sido desarrollados y ahora están en el mercado.
- El sistema ISDB-T fue evaluado con varias unidades móviles, en el Ecuador por la Superintendencia de Telecomunicaciones.

3.5.4.2 Desventajas

- ISDB-TSB opera en las bandas de VHF y UHF no ocupa la banda AM, esto requeriría una actualización de la infraestructura y equipos existentes en la estación radiodifusora AM.
- ISDB-TSB no es un sistema híbrido para transmitir en forma digital y analógica simultáneamente.

3.6. COSTOS DE CONVERSIÓN

La implementación de la radio digital, requiere una inversión considerable por parte de los operadores, quienes tendrán que realizar una reconversión de una parte fundamental de los equipos profesionales que mantiene actualmente y que deberá abarcar las áreas de producción, control y transmisión, en tanto se abren nuevas posibilidades como transmitir múltiples programas simultáneamente con un sólo transmisor, transmitir datos e imágenes o mejorar la calidad del audio.

3.6.1. ANALISIS DE FACTIBILIDAD

El impacto económico que tendrán los operadores, dependerá del sistema que se adopte en el país, así como la infraestructura y cantidad de equipos que tendrán que conservar o reemplazar.

Para la implementación de la estación de radio digital, se puede tener dos posibilidades las cuales se enuncian a continuación:

- Implementación de una estación totalmente nueva, en cuyo caso el problema principal radicaría en la adquisición del espacio físico, elementos estructurales y todos los equipos necesarios para la nueva estación.
- La segunda posibilidad radica en la implementación de equipos nuevos necesarios para transmitir en forma digital, en el espacio y estructuras, que tiene actualmente la estación de radio.

3.6.1.1 Costos

Los costos se centran en tres áreas fundamentales de la estación de radiodifusión digital, las cuales son producción control y emisión.

3.6.1.1.1 Etapa de Producción

Esta área, es la encargada de elaborar el programa propiamente dicho, donde se mezclan distintas señales sonoras, como se mencionó en el capítulo 1, sección 1.4.2.1, esto lo puede hacer la consola, a la cual están conectados micrófonos, CDs, computadores, etc.

EQUIPOS	COSTOS (USD aprox.)
Consola de audio digital o analógica	42,300
Micrófonos	
Audífonos	
Altavoces	
Lector de discos compactos	
Cassette recorder play/record	
Computador para estación de audio digital	23,500
Software para estación de audio digital	
Sistema del almacenamiento de audio con disco duro	
Convertidores A/D y D/A	
Router de red de audio/ interfaz lógica	64,415
Racks para el equipo y tableros fijos	
Armario para consola	
Otros	

TABLA 3.3 Costos en la Etapa de Producción.

3.6.1.1.2 Etapa de control

Esta área es la encargada de decidir el uso de la información producida en los estudios, ya sea para grabación, envío a archivo o emisión al transmisor.

En esta sección, se encuentran los equipos necesarios para procesamiento de la señal digital, esto es el codificador, el cual se encarga de la conversión al formato establecido por cada estándar (Mpeg, AAC, etc), también se encuentra el multiplex, el cual se encarga de generar la trama (dependiendo de cada sistema), para ser difundida al centro de transmisión. Así mismo se genera la ruta necesaria, para enviar mediante un radioenlace, una red LAN o un sistema satelital al centro de transmisión.

EQUIPOS	COSTOS (USD aprox.)
Auriculares	8,500
Micrófonos	
Consola de audio	
Computadores o estaciones de control	2,000
Codificador	600
Multiplexor	2,000
Routers	120,000
Switchs	
Racks y patchs panel	
Cableado y conectores	
Otros	

TABLA 3.4 Costos en área de Control.

3.6.1.1.3 Etapa de Transmisión

Esta área es la encargada de tratar la señal para que pueda ser radiada mediante la antena. Esta etapa consta de los equipos necesarios de enlace, para comunicar la estación de radio con el modulador. Las redes comunes que intervienen en la comunicación estudio transmisor, son redes LAN, WAN, satélite, dependiendo del lugar en el que se encuentren los estudios de producción.

EQUIPOS	COSTOS (USD aprox.)
Transmisor	110,000
Sistema Radiante y accesorios	20,000
Líneas de transmisión	12,000
Routers	120,000
Switchs	
Racks y patchs panel	
Cableado y conectores	
Otros	

TABLA 3.5 Costos en el área de Transmisión.

Total: \$525,515.00

Con respecto a los costos de operación, se debe tener en cuenta, el consumo de energía eléctrica. Otro costo es la utilización del servicio telefónico convencional. Una evaluación precisa de los flujos operacionales dependerá no solo de los costos, sino también de los ingresos, los cuales a su vez dependen del contenido o servicio ofrecido y de la disposición a pagar por estos servicios.

Una forma de calcular los costos de inversión totales para un operador sería recurrir a la siguiente expresión, la cual si bien es aplicada para estudios de televisión Digital, con ciertos criterios es aplicable para estudios de radiodifusión digital.

$$\text{Costo Total de migrar a un sistema Digital} = (A \cdot n_1 + B \cdot n_2 + C \cdot n_3 + E) \cdot R \quad (3.1)$$

Donde:

A = Costo de implementar un estudio de grabación.

n1 = Número de estudios de grabación por canal.

B = Costo de la instalación de un transmisor principal.

n2 = Número de Estudios (principal y secundario).

C = Costo de los equipos de retransmisión.

n3 = Número de Repetidoras.

D = Costo de infraestructura Física y demás

R = En un inicio este valor es de uno, y representa el índice de disminución en el precio de los equipos, es decir R estaría entre 0 y uno.

En este punto, se debe mencionar que, por un lado la radio digital, está aplicada para ser un servicio que se puede implementar sobre cualquier plataforma, pero esto dependerá de los servicios que vaya a prestar el operador y aquellos por los que esté dispuesto a pagar el usuario.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN

4.1 INTRODUCCIÓN A LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN TERRESTRE

Actualmente los países que han implantado radiodifusión con tecnología digital terrestre consideran la entrega de servicios nacionales, servicios regionales y servicios locales. Para la entrega de los servicios nacionales y regionales se requiere una red de transmisores operando a la misma frecuencia, para así tener una optimización en frecuencia, potencia y eficiencia. Para el caso de servicios locales, la cobertura puede proporcionarse desde una sola estación principal, con pocos repetidores de baja potencia o con una pequeña red de frecuencia única.

Quedan, por supuesto, otras plataformas de distribución que, muy seguramente, acabarán adquiriendo mayor protagonismo que los específicamente dedicados sólo a la distribución de audio. Más allá de los estándares para la radio digital vía hertziana, existen, pues, otras radios digitales que funcionan: vía satélite, Internet (streaming, peer-to-peer, podcasting) o el teléfono móvil. El futuro de las redes tiende a ser multiplataforma y multimedia y, se añade ahora, también en movilidad.

Se pueden mencionar dos tipos de redes para la emisión terrestre a ser consideradas:

- Redes planeadas en principios convencionales, que permitirían llevar programas diferentes, por transmisores individuales usando frecuencias diferentes.
- Emisión distribuida con lo que la cobertura requerida se proporcionaría a través del uso de transmisores múltiples operando en la misma frecuencia y llevando los mismos programas.

4.1.1 REDES MULTIFRECUENCIA

La transmisión terrestre análoga utiliza la red de frecuencia múltiple (MFN); es un esquema de transmisión que usa una frecuencia de transmisión diferente en cada área de servicio. Las redes MFN consisten en situar transmisores que emiten en diferentes canales para cubrir una amplia zona geográfica, haciendo un mayor uso del espectro radioeléctrico pero permitiendo la regionalización de sus programas.

Para cubrir grandes áreas es necesario un gran número de canales de radiofrecuencia, el número de canales dependerá por una parte de la robustez que tenga el modo de transmisión y por la zona de cobertura. La cobertura de un transmisor puede ser modificada cambiando su potencia transmitida, la altura y diagrama de radiación del sistema radiante. Las zonas de sombra sólo pueden ser cubiertas añadiendo un nuevo transmisor en un canal diferente, o en el mismo canal si el área de sombra se encuentra dentro del área de cobertura del canal principal.

La principal ventaja de este tipo de redes de difusión es la no necesidad de sincronismos en los transmisores y en la posibilidad de generación centralizada de la señal COFDM, lo que reduciría en costos de implantación en la red.

Sin embargo, cuando se opte por este tipo de redes, debe tenerse en cuenta que harán falta más recursos de frecuencias.

4.1.2 REDES DE FRECUENCIA ÚNICA

Una de las grandes ventajas que posee la implantación del sistema digital frente al analógico es la posibilidad de crear redes de una sola frecuencia consiguiendo por tanto un mejor aprovechamiento del espectro.

Entre las ventajas de una red de frecuencia única se puede encontrar aparte de la citada anteriormente:

- Menor potencia de transmisión debido a la ganancia interna.
- Facilidad de rellenar zonas vacías con reusos de frecuencias.

Las desventajas son:

- La red no puede dividirse
- Es necesaria una sincronización entre los emisores.

El problema resulta en la separación de transmisores y el intervalo de guarda en el transmisor COFDM, los cuales mientras más lejos estén, más interfiere. Sin embargo, la interferencia producida por la propia red SFN debido a transmisores lejanos puede mantenerse dentro de unos márgenes lo suficientemente pequeños como para no perturbar en demasía la señal.

Una red de frecuencia única es aquella en la que todos los transmisores dentro de la red están funcionando en el mismo canal de RF y donde todos los transmisores están modulando sincrónicamente con la misma señal de datos (véase la figura 4.1).

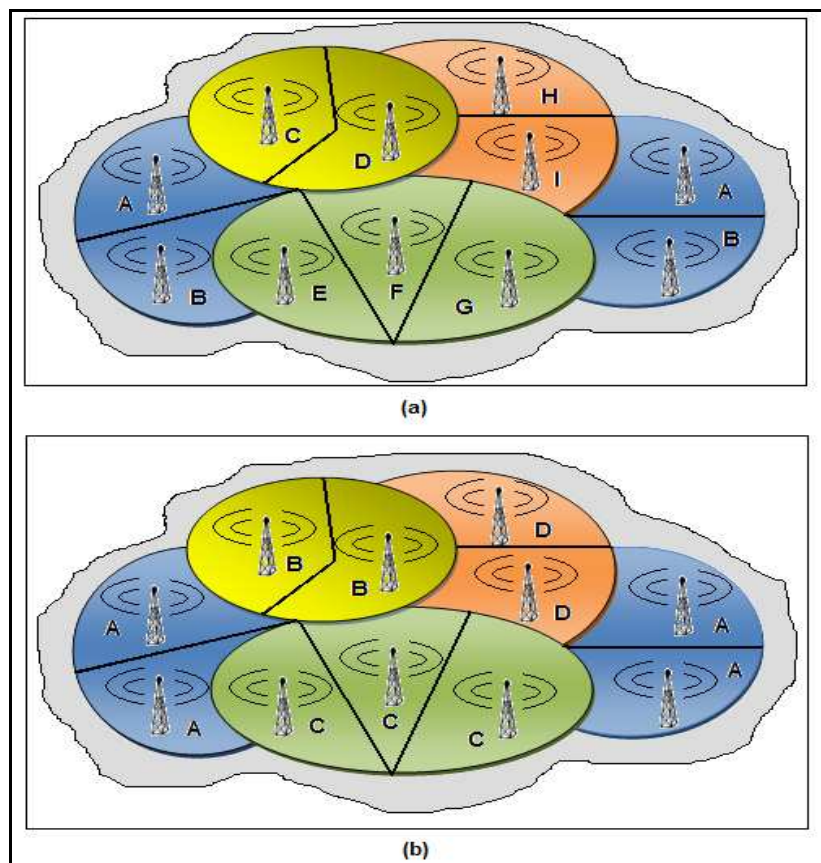


FIGURA 4.1 Tipos de redes de radiodifusión (a) Red Convencional MFN. (b) Red SFN.

Las redes de frecuencia única son posibles de establecer, debido a la utilización de la tecnología COFDM. Esto también depende de la correcta sincronización de los transmisores de la red, mediante la distribución de una fuente estable de frecuencia y un pulso de referencia para las principales estaciones.

Esto se basa en el hecho de que una vez establecida, la red se puede ajustar para asegurar que cuando varias señales lleguen simultáneamente a un receptor se sumen constructivamente sin causar interferencias. Esto se consigue mediante la selección cuidadosa del modo COFDM y variando el intervalo de duración de guarda para que coincida con los retrasos en la transmisión.

4.1.2.1 Tipos de redes de frecuencia única

Diferentes tipos de Redes de Frecuencia Única son posibles de establecer dependiendo de los requerimientos del operador de la red y de las condiciones regulatorias que prevalecen en la región. Una SFN correlacionada es dónde el contenido del programa es idéntico a lo largo de la red. Una SFN no correlacionada es dónde no hay correlación entre las señales de los diferentes transmisores en términos de contenido o sincronización. Los más importantes tipos de SFN incluyen:

4.1.2.1.1 SFN nacional

Dónde hay muchos transmisores de alta potencia con una separación larga entre transmisores. Éstos cubrirán un área extensa como una región completa o un país y son muy aplicables en servicios de transmisión nacional.

4.1.2.1.2 SFN regional

Dónde hay uno o más transmisores de alta potencia con una separación bastante considerable entre transmisores.

4.1.2.1.3 Red MFN con redes SFN

Normalmente se trata de un emisor ya existente con un número de emisores SFN locales densas alrededor de cada emisor MFN.

4.1.2.1.4 Gap Fillers SFN

Son transmisores co-canales de baja potencia, alimentados desde una estación principal, que son típicamente usados para llenar los vacios en la cobertura.

4.1.2.2 Interferencia Producida por la red de frecuencia única

Como se mencionó anteriormente es extremadamente importante seleccionar el más apropiado modo de operación COFDM en el diseño de una SFN. Los dos parámetros más importantes son la elección del intervalo de guarda y el modo de funcionamiento de los sistemas, para las redes SFN.

La interferencia propia de la SFN surge debido a la distancia de separación de transmisión, superior a la que el intervalo de guarda puede acomodar.

Si las señales de un cierto número de transmisores que están distantes unos de otros llegan a un receptor, las señales pueden estar retardadas en el tiempo en relación los unos a los otros, debido en parte a la separación física de los transmisores.

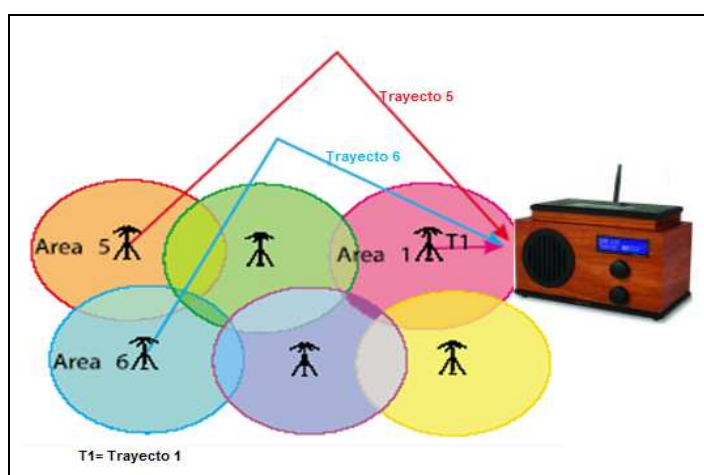


FIGURA 4.2 Diferentes trayectos que toma la señal al llegar al receptor.

Si esta distancia es lo suficientemente grande se puede crear un retraso, que supera el intervalo de duración de guarda elegido para el SFN. Si esta condición se produce la señal atrasada actuaría como señal de ruido y causaría interferencias en el receptor.

Por tal motivo, los diseñadores de redes suelen especificar como regla empírica, que el intervalo de guarda se seleccione por lo menos coincidiendo con el retraso producido por la separación física de los transmisores adyacentes en la red.

4.1.2.3 Optimización en las redes de Frecuencia Única

Si se usan pocos transmisores demasiado alejados entre ellos, los ecos pueden superar al intervalo de guarda y afectar a zonas con la interferencia propia de la red. La relación portadora a interferencia (C/I), cobra importancia donde hay dificultades para hacer llegar la señal. Por tal motivo existen técnicas para mejorar la relación C/I, las cuales son:

- Modificar la potencia de transmisión.
- Modificar la localización del transmisor.
- Modificar el diagrama de radiación de las antenas.
- Añadir gap fillers en puntos concretos.

4.1.2.4 Sincronización en las redes de frecuencia única

Una de las ventajas de las redes de frecuencia única es que varios programas pueden ser difundidos en un área extensa usando solamente un canal. Sin embargo, el modo de operación SFN requiere una perfecta técnica de sincronización de red, debido a que se necesita radiar la misma información, al mismo tiempo y a la misma frecuencia. Esto se debe al hecho de que cualquier señal a la misma frecuencia que llegue al receptor fuera del intervalo de guarda, pueda interferir.

A esto se suman los retardos de distribución, que siguen a las señales antes de ser radiadas, ya que los mismos son los producidos por el procesamiento de cada uno de los equipos, así como del medio de transmisión empleado, como es el caso de la

comunicación multiplexor y modulador. En este sentido en una red de frecuencia única si el modulador y el multiplexor se encuentran juntos y a la vez existe otro centro de transmisión con su multiplexor ubicado en otro lugar, el segundo generaría un retardo, que puede ser visto como interferencia en el receptor.

Por lo tanto, es necesario definir métodos de sincronización en los distintos centros de la red, para que todos transmitan al mismo instante, de tal manera que la diferencia de trayectos entre transmisores y receptor, caiga en el intervalo de guarda y no fuera de él.

4.1.2.4.1 Mecanismos de Sincronización

En radiodifusión terrenal, se necesita la sincronización de frecuencia ya que el esquema de modulación empleado, transmite múltiples portadoras a la misma frecuencia por todos los transmisores que pertenecen a la red SFN.

La sincronización temporal también es necesaria para poder aprovechar la robustez del sistema COFDM frente al efecto de propagación multitrayecto. Dicho de otro modo que todos los ecos producidos por el multitrayecto, caigan en el intervalo de guarda, y no fuera de él.

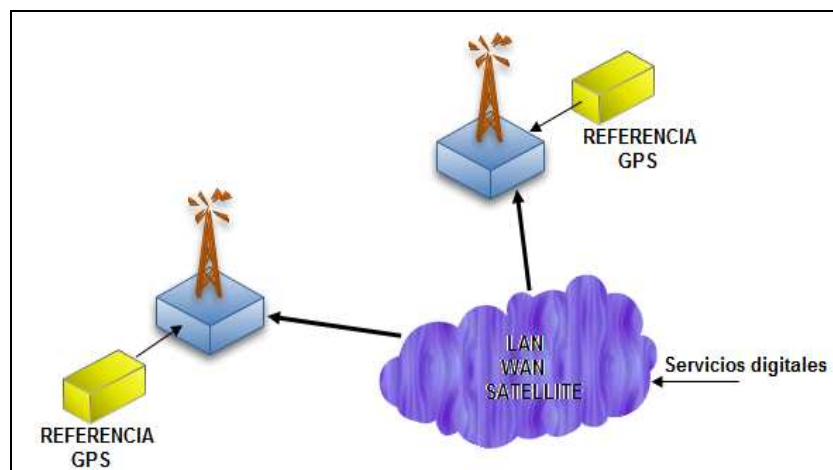


FIGURA 4.3 Sincronización en la red SFN.

Para cumplir los requisitos de sincronización temporal y de frecuencia en la red, se usa un sistema GPS que proporciona dos señales, una señal con frecuencia común para todos los transmisores y otra señal de 1 PPS (pulso por segundo), que puede emplearse para la sincronización temporal.

4.1.2.5 Ganancia de la red

Al ser transmitida una señal, esta puede llegar a un receptor desde varios transmisores, dentro del intervalo en el cual está contenida la información, llamado periodo de símbolo. Dentro de este intervalo, se puede producir una suma de todas las señales de la red. Así, este efecto, produce una ganancia dentro de la red.

4.2. ESTRUCTURA Y ELEMENTOS DE UNA RED

4.2.1. RED DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL

En un sistema de radiodifusión digital, los emplazamientos transmisores, se encuentran en otros sitios, separados del estudio de transmisión. En este sentido se debe prever el tipo de comunicación que existirá desde el estudio de la radiodifusora hasta el sitio de transmisión. Así como los centros intermediarios entre las estaciones y el centro de transmisión.

Las estaciones que usan el servicio de radiodifusión digital, pueden usar una serie de tecnologías, hasta llegar a los equipos transmisores, entre las que se puede mencionar, se encuentran ISDN, Satélite, Microonda y mediante tecnologías LAN, esta última, si la estación se encuentra cerca del centro de procesamiento de la señal digital.

La radiodifusión digital es más eficiente, debido a las nuevas tecnologías digitales en los sitios de transmisión y procesamiento de la señal. Para una estación en particular, varios servicios pueden ser enviados en las diferentes redes (LAN, WAN, etc.), hasta llegar al centro de procesamiento de la señal digital, donde será multiplexada y repartida a los diferentes transmisores, los cuales se encargarán de emitir la señal a una única frecuencia.

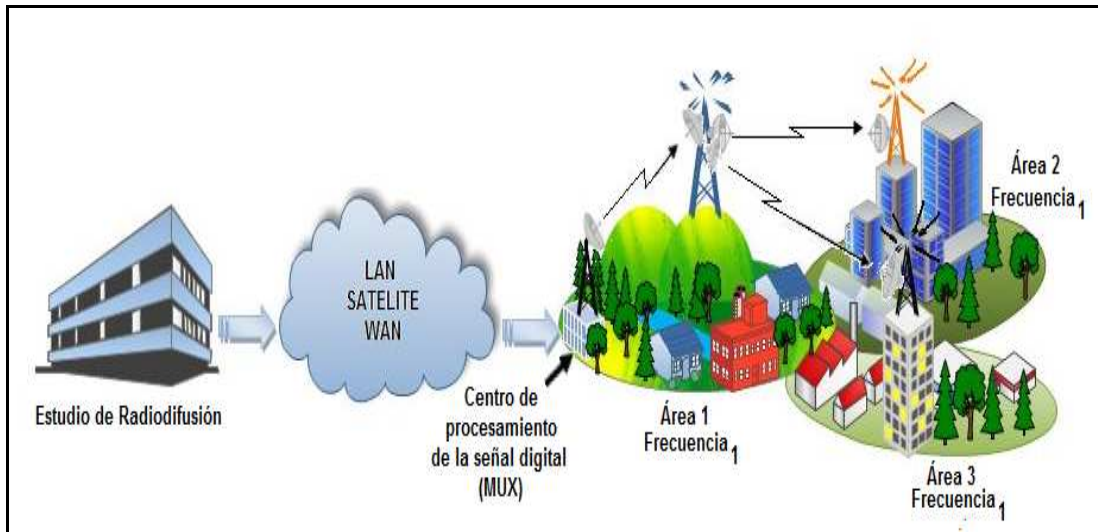


FIGURA 4.4 Red de Radiodifusión digital.

En el sistema de radiodifusión analógico (figura 4.5), cada emisora posee sus propios moduladores y frecuencias asignadas.

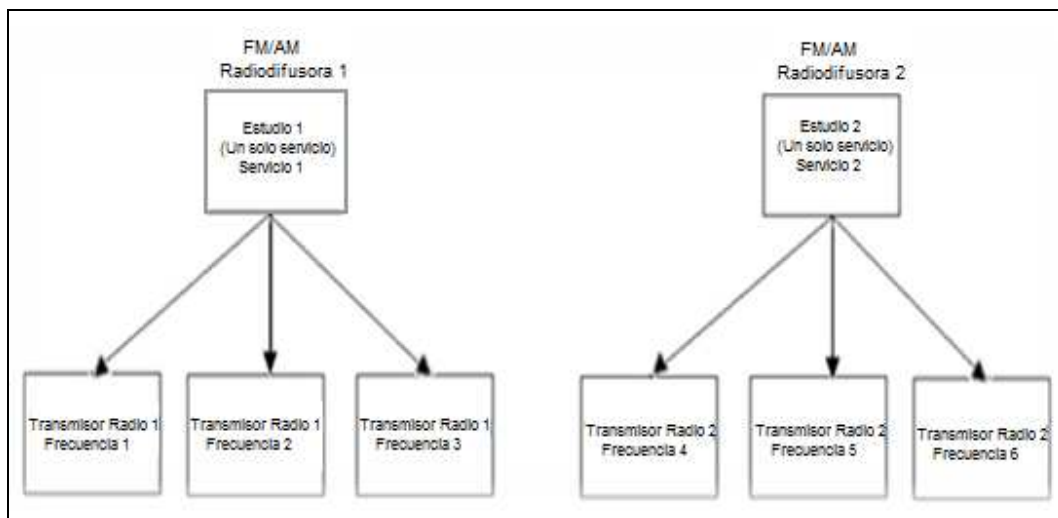


FIGURA 4.5 Estructura de un sistema de radiodifusión analógico.

Por el contrario los sistemas de radiodifusión digital, ofrecerán varios servicios (a más del audio), que podrán ser transmitidos en el mismo canal FM o AM, en una red SFN, en este caso, si se usan las tecnologías IBOC o DRM.

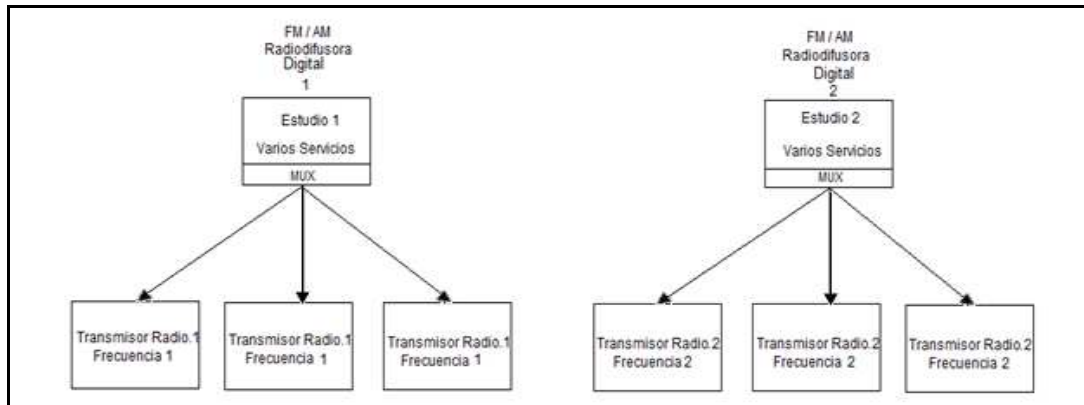


FIGURA 4.6 Estructura de los sistemas de radio digital AM/FM.

Si el ancho de banda del canal es mayor, como en el caso de las tecnologías DAB e ISDB-TSB, se tendrá un sistema con la capacidad de ofrecer más y mejores servicios.

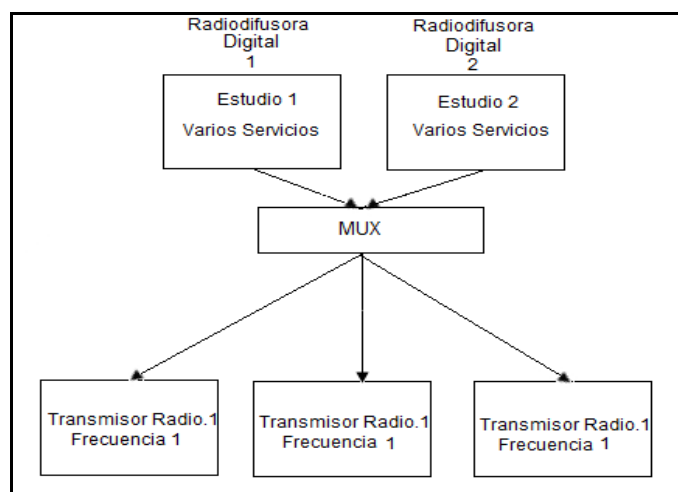


FIGURA 4.7 Estructura de los sistemas de radio digital con mayor ancho de banda.

4.2.2. TRANSMISIÓN DISTRIBUIDA

La transmisión distribuida, busca recurrir a la utilización de una gran variedad de transmisores para cubrir una área de servicio, sin que necesariamente se requiera incluir una estación de alto poder convencional, mejorando así, la disponibilidad de servicio y sin la necesidad de sobredimensionar el transmisor principal, si bien una o más estaciones pueden formar parte de la red de transmisores.

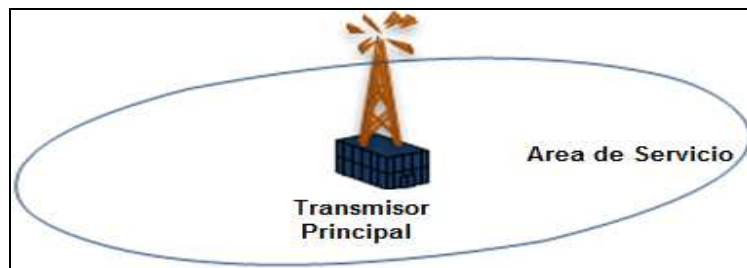


FIGURA 4.8 Ejemplo de sistema sin transmisión distribuida.

Al utilizar varios transmisores operando a la misma frecuencia y eligiendo cuidadosamente los emplazamientos de los mismos, se puede prevenir los efectos de la interferencia multitrayectoria. De manera que el receptor, suma todos los ecos de forma constructiva.

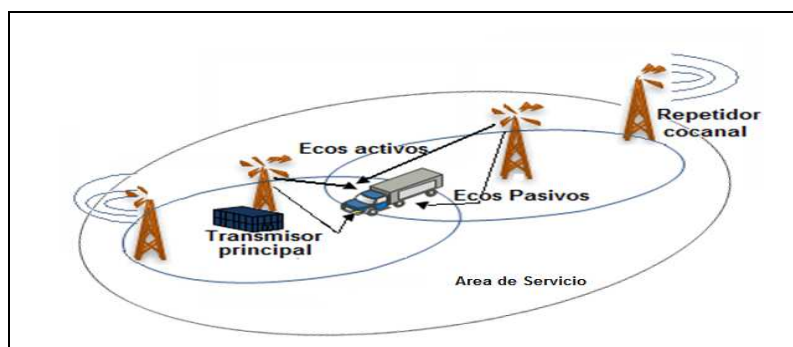


FIGURA 4.9 Transmisión distribuida.

Con una separación menor entre transmisores, se consigue una mayor estabilidad en la señal del receptor. La utilización de varios repetidores de baja potencia para complementar el transmisor principal supone una reducción significativa de la potencia radiada del mismo. Además, un aumento en la potencia radiada de uno de los repetidores supone una interferencia mínima en servicios co-canales.

Las ventajas de la emisión distribuida son las siguientes:

- La reducción de potencia en los transmisores, acorta la distancia de reutilización de frecuencias y la interferencia en redes adyacentes se reduce considerablemente.

- La cobertura puede adaptarse al mercado. Las redes de frecuencia única permiten que la cobertura pueda extenderse en función del mercado, simplemente añadiendo nuevos emplazamientos.
- Se reduce el coste de los amplificadores.
- Mejor cobertura en las áreas urbanas. Los repetidores co-canal permiten ofrecer mayor nivel de señal en los lugares de mayor dificultad de recepción (interiores, túneles, etc.).

4.2.2.1 Gap-fillers

Un gap-filler es un repetidor co-canal de baja potencia ubicado dentro del área de cobertura, con el fin de cubrir una pequeña área de sombra del transmisor principal. Las grandes ventajas de los gap-fillers son su bajo costo y su sencillez en la instalación, ya que requiere poca potencia y puede ser montado sobre una pequeña torre o en el techo de un edificio. La idoneidad de utilizar un transmisor o un *gap-filler* dependerá del emplazamiento en particular y del coste relativo de estos, pero en un despliegue en una zona urbana son necesarios ambos tipos de emisores.

Todos los transmisores y gap-fillers radian los mismos servicios a la misma frecuencia.

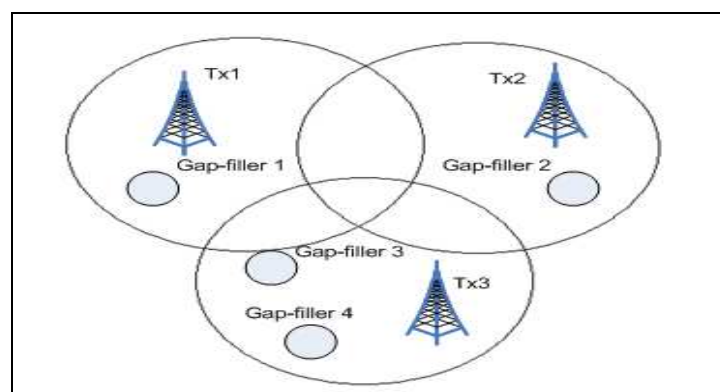


FIGURA 4.10 Pequeños retransmisores locales dentro de una red SFN [30].

4.2.2.2 Repetidores co-canal

Los repetidores co-canal son repetidores de media potencia que son instalados en el borde del área de cobertura del transmisor principal, donde se retransmite la señal emitida por el transmisor principal.

Su funcionamiento consiste en captar la señal, filtrarla y amplificarla. Estos no requieren de sincronización y permiten incrementar el área de cobertura sin necesidad de aumentar la potencia del transmisor principal o añadir nuevas áreas de cobertura isofrecuencial sin modificar la planificación. Como se muestra en la figura 4.11, tomando en cuenta que la distancia entre transmisores no sea mayor que la correspondiente al intervalo de guarda su estructura básica es la siguiente.

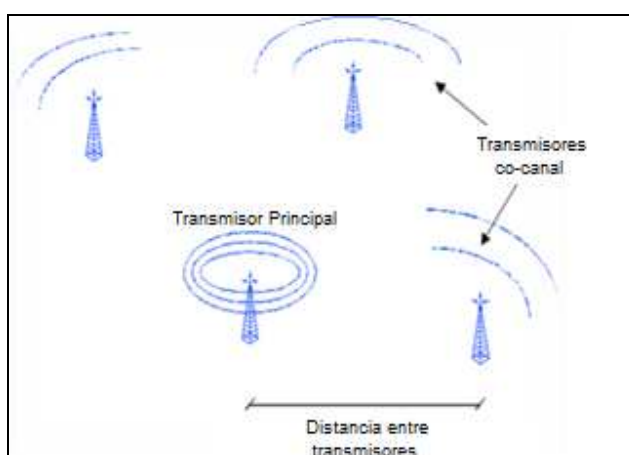


FIGURA 4.11 Ampliación del área de cobertura utilizando reemisores co-canal [32].

Una de las ventajas de utilizar este tipo de repetidores, es que Los repetidores co-canal no requieren ningún tipo de sincronización con el transmisor principal, porque reciben la señal radiada y la retransmiten, por lo que no es idónea para dar servicio a grandes extensiones.

4.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES EQUIPOS TERMINALES DE USUARIO.

Para las comunicaciones interactivas fue posible apreciar que hubo un crecimiento menor al comienzo, en un sistema analógico y un crecimiento mayor, una vez que se

ha alcanzado un umbral en la convergencia de los sistemas de comunicación digital. Este hecho anterior se explica porque la valoración de una red interactiva para un individuo se basa en la medida que va aumentando el número de interconectados: es decir que cuando aumentan el número de usuarios crecen los beneficios de comunicarse con un conjunto de potencial mayor, así como también se elevan los costos de no estar interconectado.

Las nuevas técnicas de radiodifusión toman en cuenta la opción de ofrecer servicios interactivos, estableciendo normas compatibles e interoperables con otras plataformas de comunicaciones existentes. Este cambio o transición sugiere involucrar, no solo la inversión necesaria para la evolución tecnológica, sino también la de un estudio completo para establecer normas o leyes de regulación, que controlen a estos sistemas de radiodifusión digital, que a veces pueden tomar mucho tiempo para ser establecidas, por tal motivo en un inicio los servicios ofrecidos no serán demasiado convergentes.

Entonces, el enfoque metodológico que se debe utilizar para proyectar la adopción de un sistema DSB en Ecuador, es asumir la penetración de un servicio que estará asociado al menos inicialmente a aplicaciones de transmisión tradicional.

4.3.1. SERVICIOS AVANZADOS

Los sistemas digitales de Radiodifusión, han permitido que la industria dedicada a la transmisión digital tenga la oportunidad de entregar información adicional como nuevos servicios de información digital hacia un nuevo público consumidor. Obteniéndose la necesidad de crearse una nueva arquitectura tanto en el transmisor como en el receptor para los nuevos formatos para la integración de la información digital. Los sistemas de radiodifusión, ofrecen algunas soluciones para la ejecución de aplicaciones interactivas. Entre ellas se puede mencionar los servicios avanzados de aplicación, información multimedia, información de texto, etc.

4.3.1.1 Servicios avanzados de aplicación

El servicio AAS⁶², brindado por el estándar IBOC, provee de una infraestructura común, delineada por las interfaces de programación de aplicación específica (APIs), para mantener una amplia variedad de nuevos servicios. La disponibilidad de esta infraestructura permitirá obtener un grado sustancial de consistencia y previsibilidad. Permitiendo a las aplicaciones de la próxima generación y a los diseñadores de servicios, desarrollar, probar y desplegar rápidamente sus mejoras en las plataformas de la Radio Digital de las generaciones futuras. La estructura de Servicios de Aplicación Avanzada (Figura 4.12) provee como un “puente” o un “middleware” entre los proveedores de servicio y los dispositivos receptores de Radio digital avanzada (consumidores de servicio).

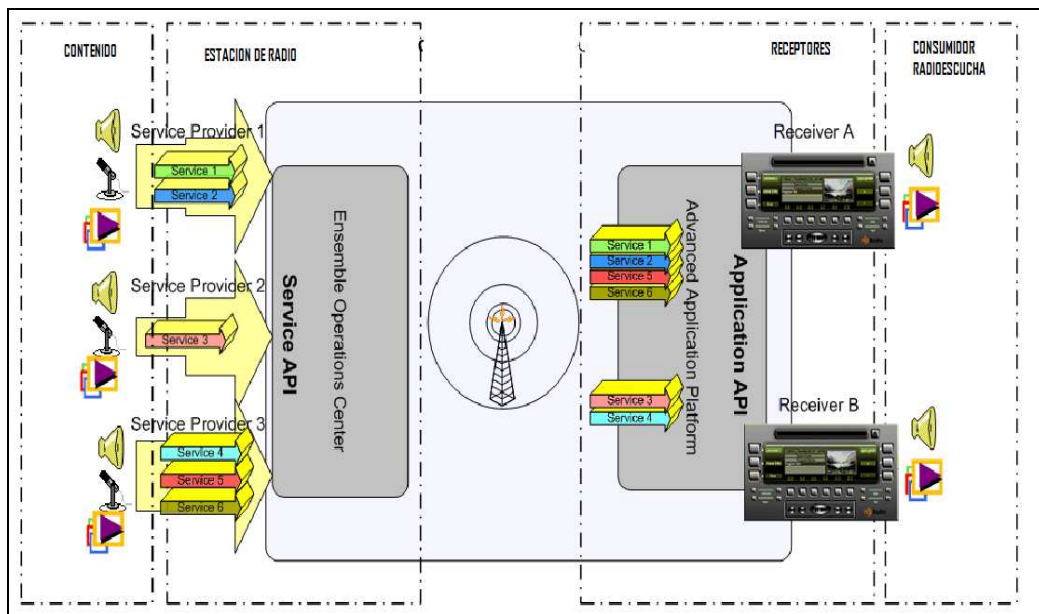


FIGURA 4.12 Estructura de servicios de aplicación avanzada [24].

La estructura AAS proporciona beneficios específicos en varias áreas en la cadena de transmisión:

⁶² **AAS:** Advanced Application Services

- Los proveedores de servicio pueden entregar información en una forma que puede utilizarse por una amplia variedad de dispositivos con el sistema AAS. También un SDK (herramientas de desarrollo de software) estará disponible para facilitar la integración con un EOC de una estación.
- Las transmisoras son capaces eficazmente de influenciar en la capacidad de sus datos disponibles en su estación, ya que puede usar esos servicios de mejor manera satisfaciendo así, sus necesidades comerciales. Estos servicios pueden originarse localmente para una facilidad en la transmisión.
- En el (Receptor) los Desarrolladores de Aplicación son capaces de desarrollar una poderosa herramienta modular (Bibliotecas de software en Plataforma de Aplicaciones Avanzadas) produciendo un desarrollo rápido de nuevos productos. Además estos diseñadores pueden proporcionar compatibilidad (para nuevos servicios en el futuro) y soluciones innovadoras para sus consumidores.
- Los usuarios finales pueden escoger entre una gama de dispositivos que pueden hacer uso de nuevos servicios ofrecidos por sus estaciones favoritas. El concepto de AAS hace posible para cualquier número de aparatos receptores para inter operar entre estaciones de Radio Digital que proveen estos servicios.

4.3.1.2 Información de texto

Los nuevos sistemas incorporarán información de texto asociada al contenido transmitido en el canal de audio, que se visualizará en el receptor. Esta información puede ser título de la canción, tipo de música, noticias sobre el tráfico, etc.

4.3.1.3 MOT⁶³

⁶³ **MOT:** Multimedia Object Transfer protocol

MOT es un protocolo de transporte para la transmisión de contenido multimedia en canales de datos para varios tipos de receptores con capacidades multimedia.

Según se especifica en los formatos de transmisión de datos son:

- Datos generales: MIME/HTTP.
- Imágenes: JPG, GIF, JFIF y BMP.
- Texto: *text* (ASCII ISO 646 e ISO 8859-1) HTML (ISO 8859-1).
- Multimedia: MHEG (ISO/IEC 13522), y Java.

Además, este protocolo permite enviar archivos genéricos, con la condición, para la recepción de éstos, de disponer de un decodificador que corresponda al formato en que se hayan enviado los mismos.

4.3.2 ÁREAS DE APLICACIÓN DEL SISTEMA.

Las posibilidades que la información sea transmitida en formato digital, abren al mundo de la radiodifusión con muchos beneficios. Este amplio campo de funcionalidades no es homogéneo en sus necesidades. Las diferentes características de los servicios que se pueden desarrollar implican la existencia de distintos grados de exigencia por parte del usuario consumidor, en cuanto a los recursos que ellos demandan al dispositivo receptor que ofrece un servicio.

La plataforma AAS no es en absoluto ajena a esta variedad en el hardware y en el software, necesario para implementar los distintos servicios propuestos. Por ello se hace un ajuste en el costo de los terminales según los servicios que los usuarios deseen. AAS ha considerado desde el principio una jerarquía de áreas de aplicación. Cada una de estas áreas define una extensión de servicios sobre la anterior, con la consiguiente necesidad de mayores recursos de hardware y software (protocolos y APIs) para dar soporte a los nuevos servicios.

La radio digital tiene un conjunto de características muy flexibles, además de fácil adición para extensiones futuras sin embargo tiene la desventaja de un sistema unidireccional (solo transmisión), al igual que la mayoría de los otros sistemas (servicio de radio digital satelital). Así que eventualmente se va a tener otra transición como la de la radio convencional a la radio digital con servicios integrados, interactivos y de mayor capacidad.

En un principio las áreas de aplicación son tres:

- Área de difusión mejorada (Enhanced Broadcasting). Combina la difusión de audio y datos con la posibilidad de ejecutar aplicaciones que ofrecerán interactividad local sin la necesidad de un canal de retorno.
- Área de difusión interactiva (Interactive Broadcasting). Extiende la difusión mejorada permitiendo ofrecer un amplio número de servicios interactivos soportados por un canal de retorno.
- Área de acceso a Internet (Internet Access). Extiende la difusión interactiva proporcionando contenidos, servicios de Internet y servicios de tráfico.

4.3.3 RECEPTORES DE RADIO DIGITAL

La renovación de dispositivos de radio convencionales es una perspectiva muy ideal. No solo se debe tener en cuenta que no existe una tal actualización, ya que las radios analógicas actuales serían obsoletas si se tiene una señal digital en el aire, sino que el precio de los mismos es demasiado costoso, obteniéndose una inversión elevada en la renovación de equipos y dependiendo del equipo tan solo serviría para obtener la misma programación pero con mayor definición y sonido.

Para contrarrestar estas desventajas, uno de los objetivos de las industrias distribuidoras de receptores de radio digital se ha enfatizado en establecer una clasificación de los diferentes tipos de radio digital existentes:

- **Componentes HI-FI:** las primeras radios digitales que han salido al mercado son componentes de HI-FI. Estos sintonizadores pueden ser de dos tipos:

sintonizadores exclusivamente digitales o sistemas combinados analógico y digital FM/AM tradicional. Para visualizar informaciones como el tráfico, texto de la canción que está sonando en ese momento, etc; el receptor cuenta con una pantalla incorporada.

- **Sistema HI-FI:** la Radio Digital estará incluida en los nuevos sistemas de HI-FI, tanto cadenas como mini-cadenas. El sistema radio digital permite que todos los componentes (CD, mini-disc y radio digital) sean compatibles entre sí.
- **Autorradios:** las radios digitales para los automóviles consisten en una unidad que puede incluir CD con un receptor de radio FM/AM integradas en una caja que puede ir instalada debajo de los asientos o en el maletero del coche. Algunos fabricantes están empezando a comercializar receptores de coche DAB, que no requieren del módulo de radio digital al estar incorporado en la unidad central. En la carátula de la radio ya no se tendrá el dial, sino un menú de servicios para seleccionar el audio o los datos que se desee. Aunque tecnológicamente sí que han de estar especialmente preparados para el problema que supone el movimiento del receptor tampoco están limitados especialmente por el consumo eléctrico.



FIGURA 4.13 Diferentes modelos de autorradios.

- **Portátiles:** todavía no es posible adquirir un aparato portátil de radio digital en algunos países aunque la previsión de su lanzamiento dependerá de las políticas de cambio de tecnología de cada país. El consumo de energía será similar al de un CD portátil, aunque las baterías es probable que sean más grandes. Gracias a estos modelos existentes de tecnología digital el usuario puede beneficiarse de servicios como el envío de datos generales a través del canal de información, radiobúsqueda, información de tráfico, sistema de

posicionamiento global, datos extra de los títulos musicales y muchas otras características novedosas, además de la señal digitalizada propiamente dicha.



FIGURA 4.14 Diferentes modelos de radios portátiles.

- **Receptores para el ordenador:** En el mercado existen tarjetas receptoras para radio digital que incorporan el "front-end" en el receptor. Mediante estas tarjetas se pueden dirigir los servicios de datos hacia la aplicación encargada de la decodificación de estos datos. Estas aplicaciones pueden ser específicas en los servicios de datos o aplicaciones estándares (por ejemplo, un navegador). Estas tarjetas pueden trabajar igualmente con un equipo de alta fidelidad como el ordenador vía USB permitiendo realizar grabaciones de audio programadas con múltiples formatos como WAP, MP2 o MP3. Otra clase que tenemos es las PCI Card, que permiten al usuario obtener toda la información del programa y además programar grabaciones utilizando un EPG en un formato MP3.



FIGURA 4.15 Receptores para ordenador.

- **Receptores para el hogar:** Estos receptores están pensados para ser utilizados con equipos de alta fidelidad, tecnológicamente son los que menos problemas (junto con los receptores para PC) representan ya que inicialmente no están preparados para ser móviles y además tampoco presentan ninguna limitación fuerte de consumo de potencia eléctrica.

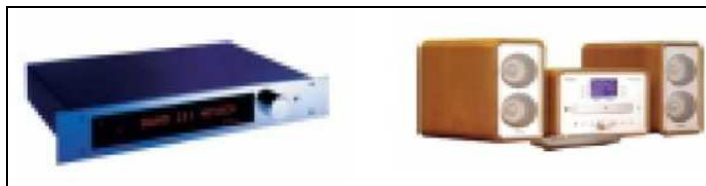


FIGURA 4.16 Receptores para el hogar.

4.4. SERVICIOS DE VALOR AGREGADO QUE SE TENDRÍA CON LA RADIO DIGITAL TERRESTRE.

Las redes digitales terrestres, como las redes de difusión por satélite, permiten fácilmente difundir programas de Radio y datos asociados a los programas o de otro tipo a un gran número de usuarios, con las ventajas añadidas de flexibilidad para cubrir zonas de mayor o menor tamaño según las necesidades de cobertura (nacional, regional ó local) y de usar las antenas existentes de la TV analógica.

Una de las ventajas de la tecnología de radiodifusión digital, es la recepción de música en alta calidad y servicios de datos, en un solo receptor. Las tecnologías ofrecen servicios de música, noticias, información, etc. Que pueden ser observados en pantallas LCD y en algunos casos con aplicaciones interactivas.

A pesar que los servicios interactivos son de nivel bajo, comparado con el Internet, se tienen sistemas de transmisión y recepción, que pueden adoptar este tipo de servicios, como es el caso de servicios de emergencia, información del tráfico, guía de rutas, diagnostico remoto del vehículo, etc.

4.4.1. SERVICIOS INTERACTIVOS, MULTIMEDIA Y CANAL DE RETORNO

Los servicios interactivos, pueden ser agregados, por un segundo canal bidireccional, el cual puede ser provisto por un sistema de telefonía celular. Este tipo de servicios está implantado en el sistema DAB, el cual ofrece al público, acceso a bases de datos para viajes y transportes así como servicios de emergencia, entretenimiento entre otros. En este sentido si el usuario con este tipo de receptor requiere acceder a alguna de las aplicaciones indicadas anteriormente, el receptor envía los datos vía GSM a un servidor que hace de Gateway al proveedor del servicio. Este último,

devuelve su respuesta y lo enruta mediante el servidor Gateway, al sistema DAB y finalmente al terminal de usuario.

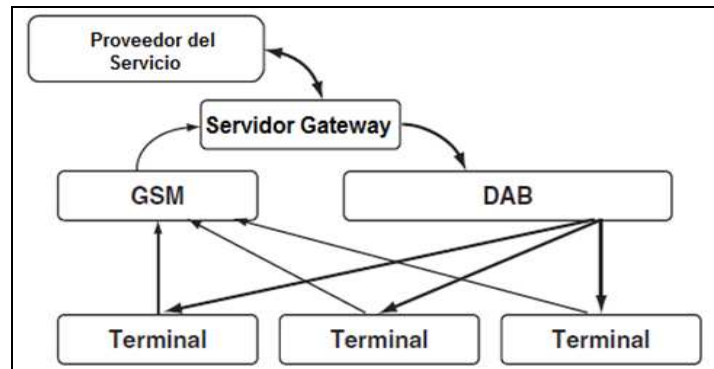


FIGURA 4.17 Concepto de canal de retorno en el sistema DAB [3].

En el caso de ISDB-Tsb, al ser parte de ISDB-T, ofrece también interactividad con el internet, el canal de retorno usado, puede ser vía GSM, modem, u 802.11. En este caso este tipo de receptor puede soportar varios tipos de medios de transmisión y protocolos dependiendo su uso, así un receptor en el hogar, podría tener su canal de retorno conectándose a la red de banda ancha que se encuentra en casa. Si el usuario es móvil, el mismo puede tener una conexión desde su teléfono celular tanto del transmisor ISDB-Tsb como del proveedor del servicio celular GSM, como canal de retorno.

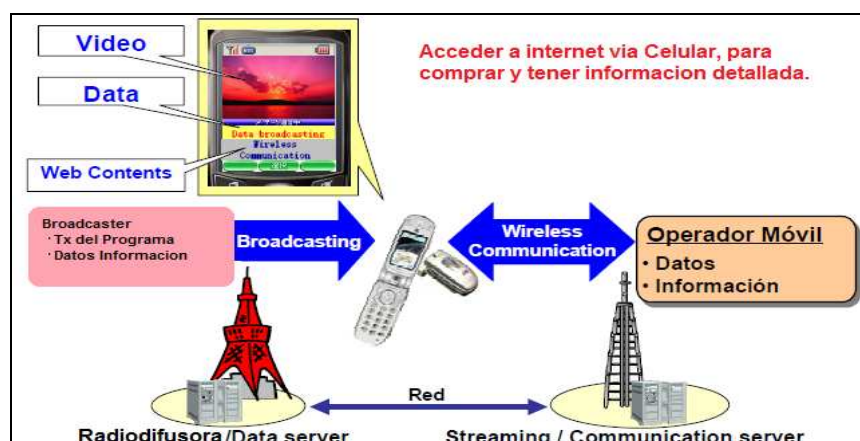


FIGURA 4.18 Canal de retorno en el sistema ISDB-T.

Para el caso de los sistemas IBOC-AM y DRM no es posible el uso de servicios interactivos, pues el ancho de los canales en AM no es suficiente.

4.4.2. API

La flexibilidad de los sistemas de transmisión en la radio digital permite la provisión de una amplia gama de nuevos servicios de comunicación para el usuario final, lo más frecuente es que los servicios de datos vayan en paralelo con el servicio de audio. El sistema stack de la radio digital está basado en la flexibilidad para el soporte de la implementación de una variedad de servicios mientras proporciona una plataforma para el desarrollo de servicios futuros.

La interfaz que contienen los receptores de radiodifusión digital terrestre son los denominados API. El API, se define como la interfaz entre el hardware y las aplicaciones en el receptor. Por tal motivo, una empresa podría ser la encargada de desarrollar Aplicaciones, y otras el hardware, produciendo así interoperabilidad.

La radio digital relativamente es una nueva tecnología, que soporta una amplia gama de servicios de audio y datos. El paquete de servicios de la radio digital permite un alto rendimiento y un uso fácil para llevar a cabo funciones de multimedia. Los usuarios no necesitan ser expertos en la radio digital, para el manejo de interfaces relacionados a la radio digital, los usuarios sólo necesitan tener el cuidado en las funciones relacionadas al teclado y al display. El software API proporcionado para la radio digital es la solución perfecta para aplicaciones en el receptor, típicamente usado en las radios de los automóviles, receptores portátiles y en los receptores del hogar.

4.4.3 EPG

Una guía de programación electrónica (EPG), es una versión electrónica de guía de programas, mostrando al usuario un breve resumen de los programas que están o estarán disponibles a través de una serie de canales.

Como tal, la EPG es una herramienta importante para los proveedores de servicios, para atraer nuevos oyentes, proporcionando un mecanismo para el suministro de mayor información sobre el avance de los programas, así como la promoción de los nuevos. En la siguiente figura se muestra un receptor DAB basado en un PC, mediante el cual se observa que la EPG proporciona información sobre el programa junto con enlaces a sitios web relacionados y direcciones de correo electrónico.



FIGURA 4.19 Guía de Programación Electrónica, EPG [3].

4.4.4. DESCARGA DE SOFTWARE

Como su nombre indica, este servicio proporciona software a través de la radio digital. Esto puede utilizarse, por ejemplo, para actualizar aplicaciones instaladas en receptores. La descarga puede realizarse automáticamente al sintonizar un canal determinado o previa petición del usuario. Esta aplicación impone la necesidad de un receptor con características especiales, más inteligente por decirlo de algún modo, puesto que debe saber cuándo es necesaria una actualización de software y de qué tipo.

4.4.5. IMPLEMENTACIÓN DE MECANISMOS DE PAGO

No es en sí mismo un servicio sino una funcionalidad. La creación de toda la variedad de servicios que se han comentado requerirá la implantación de mecanismos de pago dentro de un modelo comercial para todas estas aplicaciones.

Dependiendo de los servicios ofrecidos y los medios de transmisión, varias modalidades de pago serán posibles por suscripción, dinero electrónico, etc.

4.4.6 CA (Seguridad)

Su propósito está proveer un sistema completo de control de acceso, incluyendo las siguientes funciones principales.

4.4.6.1 Encriptación/Desencriptación

Con sus funciones de validación y manejo. El propósito es hacer la programación incomprendible a usuarios no autorizados. La pseudoaleatorización puede ser aplicada separadamente a diferentes componentes del servicio. Con la radio digital es posible realizar la permutación de datos enviados por el canal de datos y para audio en modo de cadena o paquete. La encriptación puede ser llevada a cabo por el proveedor de la programación, el proveedor del servicio o el proveedor del conjunto.

4.4.6.2 Mecanismos de Transmisión

Existen diferentes clases de validación correspondientes a diferentes tipos de suscripciones. Estos datos son enviados dentro de mensajes dedicados llamados EMM (Entitlement Management Messages). Diferentes métodos de direccionamiento han sido provistos para poder ser enviados a un usuario o a un grupo de usuarios. La radio digital provee de varios mecanismos de transporte para la EMMs todas ellas enviadas en los canales que son para datos. Ya existen dos mecanismos identificados en el mercado como EUROCRYPT y NR-MSK.

CAPÍTULO 5

PROCESO DE TRANSICIÓN DE LA RADIODIFUSIÓN ANALÓGICA A DIGITAL EN EL PAÍS.

5.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA RADIODIFUSIÓN DIGITAL EN AMÉRICA Y EN EL PAÍS.

5.1.1. INTRODUCCIÓN

Desde los primeros años de la década de los años 20, la radiodifusión sonora, ha recibido pocas variaciones en la señal emitida. Con la aparición de la radio con modulación en amplitud, es indudable que llegó a ser el medio que alcanzó a la mayor parte de la población mundial. Esto impulsó al desarrollo de los primeros receptores que fueron en sus inicios formados por un sencillo cristal detector, hasta llegar al receptor superheterodino. En las siguientes décadas y con la invención del transistor, se introduce el servicio de modulación en frecuencia, y posteriormente la estereofonía.

En esta era digital, es interesante ver que todavía existe la radio analógica y a pesar de todas sus innovaciones cabe destacar que lo que ha cambiado es el diseño de los receptores. La radiodifusión sonora digital será una realidad en el futuro, ya que el oyente podrá disponer de una programación con una buena calidad de sonido, así como también, la radiodifusión futura tendrá un valor agregado debido a las diversas aplicaciones que puede ofrecer gracias a la tecnología digital.

Para la radiodifusión sonora digital en el continente europeo se han adoptado los estándares DAB y DRM, es así que, varios países europeos han fijado una fecha límite para el cese de las transmisiones analógicas, esto es en el año 2010. Grandes cadenas radiales llevan algunos años transmitiendo su programación en formato digital, inicialmente con transmisiones piloto y actualmente con transmisiones regulares; cadenas como, la BBC de Reino Unido, DW de Alemania, TDF de Francia.

Por lo que los procesos regulatorios se han iniciado en estos países, también se suman a este proceso Rusia y España.

En el continente asiático, los potenciales mercados son la India y China que han adoptado el estándar DRM para la radiodifusión por debajo de los 30 MHz, mientras que Japón, ha desarrollado su propio estándar para radiodifusión, como es el ISDB. Por otro lado, Europa continúa mejorando el sistema DAB, que inició mediante el proyecto Eureka 147, tratando de ganar calidad. En América del norte, Estados Unidos mediante la empresa Ibiquity, tiene un sistema adaptativo, que permite un cambio gradual de los receptores, como lo es el sistema IBOC. Actualmente el IBOC se está implantando con relativa facilidad en los países donde se ha adoptado éste sistema debido a su filosofía.

La situación en Latinoamérica aún no está definida, grandes mercados como México y Brasil han realizado pruebas de transmisión con los estándares DAB, DRM e IBOC. Los demás países de la región están un poco más atrasados, ya que no han realizado prueba alguna con los sistemas de radiodifusión digital disponibles, solamente se han desarrollado estudios de factibilidad técnica y económica.

El proceso de transición tecnológica al sistema digital en América se inicia a mediados de los 90, cuando los representantes del sector de radiodifusión y los gobiernos forman grupos de trabajo con el objetivo de analizar la nueva tecnología y el modelo de adopción. El primer paso dado por estos grupos y sectores involucrados (programadores, radiodifusores, y fabricantes de equipos) es el debate sobre el sistema de radiodifusión digital a ser adoptado en cada país como una norma única, siendo clave para tener una coordinación y permitir inversiones a largo plazo en el re-equipamiento de los dispositivos de transmisión y recepción. Actualmente compiten a nivel internacional 4 normas: IBOC (Advanced Television System Committee) de Estados Unidos, DAB (Digital Audio Broadcasting) en Europa, y el ISDB-Tsb (Integrated Services Digital Broadcasting) desarrollada en Japón.

A continuación se presenta un panorama de la situación de algunos países de América, destacando los casos donde han asumido oficialmente la norma para la radiodifusión digital y los países que ya han emprendido esfuerzos significativos en esta área.

5.1.2. CANADÁ

En Canadá las predicciones sobre el futuro de la radio digital en Canadá son todavía inciertas. Porque se ha experimentado muchas dificultades desde que la norma DAB se introdujo primero en 1998 y actualmente muchos críticos consideran que este cambio se ha retenido. Una revisión en el 2006 por la Comisión de Telecomunicaciones de Radio y televisión canadiense (CRTC) resumió algunas de las razones para esta situación. Estos son: La disponibilidad limitada y el alto costo de los receptores digitales, la falta de programación digital única y la falta de cobertura digital contigua entre los principales centros urbanos Canadienses. Esta última situación, causó en los oyentes inclinarse por usar el servicio de satélite por suscripción de los Estados Unidos en vez de los servicios gratuitos de las estaciones terrestres de Canadá. El alto costo de los receptores, que no solamente es un fenómeno canadiense, se propuso en Canadá por decisión, transmitir en las bandas de frecuencia L más altas, en lugar de usar las bandas de VHF, sucediendo lo mismo en la mayoría de los otros países.

5.1.2.1. Aspectos políticos

Debido a que la radio digital en Canadá estaba en un periodo temprano de experimentación, la Comisión de Telecomunicaciones estableció dos etapas para su implantación. La primera etapa implicó el establecimiento de un proceso de otorgamiento de licencias para servicios de radio digital con base en la transición, bajo la cual, las licencias de radio digital de transición serían otorgadas por un término de tres años. La segunda etapa, para ocurrir en el futuro, implicaría la consideración de todos los aspectos de la radiodifusión de radio digital (DRB, por sus

siglas en inglés) en un término más largo que, al final llevaría al establecimiento de un régimen permanente de licencias para la radio digital.

El 15 de diciembre de 2006, CRTC⁶⁴ a través de una nota pública, (Broadcasting Radio Notice CRTC 2006-160, Digital Radio Policy), dio a conocer la nueva política de radio digital. En ella se incluye un resumen de los comentarios que las partes interesadas realizaron. En el documento, la Comisión concuerda con el consenso de la industria que la provisión de nuevos servicios innovadores son necesarios para que el consumidor se interese en la radiodifusión digital en Banda L. Señala que mejorar la calidad técnica, por si misma, no es suficiente para que los consumidores demanden servicios de audio digital. De igual forma, hace referencia al comentario de CBC (Corporación Canadiense de Radiodifusión) en el sentido de que los servicios de radio digital no remplazaran los servicios analógicos; ellos coexistirán por varios años.

Por estas razones, la Comisión ha concluido que el actual modelo de reemplazo para la Radiodifusión Sonora Digital en Banda L debe ser sustituido con un nuevo modelo de servicio, bajo el nuevo modelo, los nuevos radiodifusores de radio digital estarán en libertad, sujetos a la regulación de la Radiodifusión Sonora Digital en Banda L, de desarrollar cualquier servicio de radiodifusión que crean será de gran interés para el público radioescucha. Los radiodifusores no tendrán una licencia de transición de radio digital sino una licencia de radio digital.

En el documento, CRTC indica que es responsabilidad de la estación decidir si quiere utilizar IBOC, dadas las limitaciones técnicas, en la sección 53, CRTC establece: “A causa de las limitaciones técnicas, hay tres elementos claves a considerar del servicio si una estación implanta IBOC en un mercado particular. Primero, las señales digitales de IBOC agregarán una cierta cantidad de ruido a la

⁶⁴ Canadian Radio-television Telecommunications Commission

señal analógica de la estación, reduciendo marginalmente su área efectiva de servicio. Segundo, el área de servicio de la señal digital principal y cualquier señal múltiple que se transmita, será algo menor que el área de servicio de la señal analógica correspondiente. Tercero, las señales IBOC pueden degradar las aéreas de servicio de las estaciones vecinas y afectar su mercado⁶⁵. La cantidad de degradación dependerá de varios factores, incluyendo las relaciones de frecuencia, la ubicación relativa de las áreas de servicio o si la segunda estación ha adoptado o no IBOC.”

CRTC estableció que si los aspectos técnicos pueden ser afrontados, “particularmente cualquier interferencia potencial a otras estaciones” el sistema IBOC “podría ser considerado para concesionarse / permisionarse.”

La Comisión indicó que si el Departamento de Industria autoriza la tecnología IBOC para las Bandas de AM y/o FM bajo el Acta de Radiocomunicación, la Comisión se prepararía para autorizar el IBOC y adoptar un proceso expedito para las estaciones que proponen transmitir un servicio simultáneo en analógico y digital.

5.1.3. ESTADOS UNIDOS

Estados Unidos adoptó el estándar IBOC para la radiodifusión digital en las bandas AM y FM. El desarrollo de IBOC ha sido gracias al respaldo de la NAB (Asociación de difusores de EUA) y la CEA (Asociación de consumidores electrónicos). Aunque también se realizaron pruebas con el estándar DAB, pero no tuvo éxito debido a la saturación del espectro radioeléctrico en las bandas que DAB opera, (banda L). Así mismo, se realizan pruebas de transmisión con el estándar DRM para la onda corta.

⁶⁵ Los requisitos de protección cocanal y de canal adyacente son muy inferiores a los de Frecuencia Modulada. Debido a que el sistema IBOC ocupa un ancho de banda mayor con respecto al sistema tradicional FM analógico.

El estándar aplicado en este país, es el denominado hd-radio, no requiere la asignación de nuevo espectro, y en cambio propone una alternativa de digitalización basada en que los actuales radiodifusores, incorporen la tecnología digital en sus mismas frecuencias. El sistema propone una primera etapa de transición “híbrida”, donde conviven los formatos analógico y digital, hasta que se produzca el reemplazo de los receptores y se pueda pasar a un formato solo digital. El sistema se puede implementar tanto en estaciones de AM como de FM.

La idea es reducir la fuga de oyentes radiofónicos causada por la radio satelital, la Internet y los reproductores personales, con una oferta de servicios secundarios para atraer o retener audiencias. IBOC no es una tecnología de dominio público. El consorcio norteamericano iBiquity Digital Corp. tiene protección de patentes sobre los algoritmos de codificación y el sistema de modulación.

5.1.3.1. Aspectos Políticos

La influencia política y económica por parte de los Estados Unidos es grande a nivel mundial, en el caso de Latinoamérica la empresa iBiquity ha empezado a implantar políticas especiales, por ejemplo en México se ha manifestado que si adoptan IBOC no se les cobrará la licencia a los radiodifusores.

Pero en el periodo llamado de transición entre lo analógico y lo digital, juega un papel importante para los reguladores de la radiodifusión ya que en los países del Sur, la transición puede ser muy larga, donde el tiempo en que la totalidad de la población pueda comprar nuevos receptores digitales puede durar mucho más que en los países desarrollados.

El 13 de julio del 2009, se completó la transición en los sistemas de radiodifusión digital, pero con muchos usuarios que no adquirieron, un receptor o codificador a tiempo. En este sentido, cabe destacar que las campañas de información por parte de las emisoras y los gobiernos son fundamentales para completar con éxito el proceso de transición.

5.1.4. MÉXICO

En México, desde hace una década, los empresarios radiofónicos, agrupados en la Cámara Nacional de la Industria de Radio y Televisión (CIRT), han mostrado interés por el desarrollo de la radio digital. Inicialmente se interesaron por el sistema Eureka 147 e incluso realizaron dos pruebas en la ciudad de México para observar la tecnología europea. La primera se efectuó en abril de 1993, mientras que la segunda tuvo lugar en julio de 1996 en sociedad con la BBC de Inglaterra, pero no hubo un avance político con este sistema.

La digitalización de la radio abre una valiosa oportunidad para no sólo mejorar la calidad del sonido de las emisoras, sino también para abrir el espectro a nuevos competidores en plazas tan saturadas como la Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey y Tijuana. Esto es posible con el estándar estadounidense IBOC (In Band On Channel), el cual opera en las mismas bandas de frecuencias atribuidas actualmente a la radio de AM y de FM. De esta manera se podría satisfacer la petición del gobierno del Distrito Federal y de otras empresas e instituciones que desean tener frecuencias de radio en la capital del país.

5.1.4.1. Aspectos Políticos

Posteriormente, durante la segunda mitad de los años noventa, fue ganando influencia dentro de la CIRT una postura encabezada por los radiodifusores mexicanos de la frontera norte, la cual sostiene la conveniencia de que nuestro país adopte, para el caso de la radio digital, los estándares técnicos de Estados Unidos dada la cercanía con ese país, los tradicionales "vínculos tecnológicos" entre ambas naciones, y una razón económica: los radiodifusores de la frontera norte tienen un sector de sus radioescuchas y parte de su mercado publicitario en poblaciones allende la frontera; por lo tanto, no les convendría que México adoptara normas técnicas incompatibles con las de Estados Unidos.

En México la corporación iBiquity ha ofrecido no cobrar derechos por la utilización de su sistema IBOC, a cambio de adquirir los equipos para implementar dicho sistema,

esto podría alentar a los países de la región a adoptar este estándar. Sin embargo, IBOC en AM sigue siendo un problema en las transmisiones nocturnas, ya que presenta demasiadas interferencias.

Desde 1999 funciona en México un Comité Consultivo de Tecnologías Digitales para la Radiodifusión que cuenta con tres representantes de la CIRT y tres de la SCT. Recientemente, en junio de este año, la CIRT acordó solicitar a la SCT "que se aceleren los trabajos sobre radiodifusión digital terrestre, con la finalidad de ofrecer al auditorio mexicano servicios digitales competitivos". La radio digital terrestre ya empezó a caminar en Estados Unidos. A los grupos radiofónicos de México no les queda más que invertir en equipo e instalaciones y prepararse para la renovación tecnológica.

Actualmente se define la política de Radio Digital en el país, siendo el objetivo del gobierno, mejorar la calidad del servicio, facilitar la transición de los radiodifusores, garantizar el mejor uso del espectro y que los usuarios cuenten con equipos de bajo costo.

Como resultado de la digitalización en Estados Unidos, los organismos de regulación en México, han resuelto, como primera etapa del proceso que se pueda llevar a cabo en forma voluntaria los servicios de radiodifusión sonora digital con el sistema IBOC. Así mismo se resolvió, que se continúe con el análisis de los otros estándares de radiodifusión digital, de tal forma que garantice las necesidades de este país.

5.1.5. BRASIL

Los radiodifusores brasileños han manifestado el interés de que la digitalización se hiciera en la misma frecuencia del servicio analógico, de manera que la introducción de la transmisión digital en la radiodifusión sonora pueda ocurrir de forma gradual y económicamente aceptable. En ese sentido, declararon su preferencia por los Sistemas de Radiodifusión Sonora Digital que consideren la transmisión híbrida o simultánea (simulcast), en la cual es posible combinar las señales analógica y digital en la misma frecuencia en uso por la emisora.

5.1.5.1. Aspectos políticos

De esta manera, dos Sistemas de Radiodifusión Sonora Digital, aprobados por UIT, se tornaran potencialmente compatibles con el interés de los radiodifusores brasileños:

a) Sistema IBOC (In-Band On-Channel)

Plataforma de Estados Unidos, desarrollado por iBiquity Digital Corporation, aprobado por medio de la Recomendación UIT-R BS 1514-1 Sistema para radiodifusión sonora digital en las bandas de radiodifusión por debajo de 30 MHz, para la banda de Onda Media, y por la Recomendación UIT-R BS. 1114-5 Sistemas de radiodifusión sonora digital terrenal para receptores en vehículos, portátiles y fijos en la gama de frecuencias 30 a 3000 MHz, para la banda de FM.

b) Sistema DRM (Digital Radio Mondiale)

Plataforma desarrollada por el Consorcio Europeo de mismo nombre, aprobado por la misma Recomendación UIT-R BS. 1514-1, para las bandas de Onda Media, Onda Tropical y Onda Corta.

Ya que este país tiene 20 emisoras al aire digitalizadas. Se formó un convenio entre ABERT, que es la asociación de radiodifusores, ANATEL⁶⁶ y la Universidad Mackenzie. Entre las tres duraron seis meses en hacer las investigaciones y mediciones de la cobertura, calidad y las posibles interferencias entre las emisoras al aire y ese reporte recomienda la adaptación formal del sistema IBOC. Nosotros estamos esperanzados de que esa decisión sea tomada dentro de poco”.

Brasil ha firmado con Harris para que sea el proveedor de los equipos para montar los sistemas de radiodifusión digital. Actualmente Brasil está muy interesado en

⁶⁶ Agencia Nacional de Telecomunicaciones

propulsar el DRM+, por lo que ha creado grupos de estudio y ha firmado con el consorcio DRM para que los receptores puedan ser fabricados en su país, para de esta manera abaratar los costos alrededor de \$50. Así se podría pensar que en Latinoamérica se adoptaría el sistema DRM, ya que con un solo receptor se podría sintonizar estaciones de radiodifusión en las bandas de FM, AM y onda corta.

5.1.6. VENEZUELA

En Venezuela no se ha implantado ningún sistema digital, ya que la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) no ha decidido cuál de los estándares mundiales es el más conveniente.

5.1.6.1. Aspectos políticos

Todo parece indicar que Venezuela está ante una radio multimedia que gracias a la digitalización, es portadora de valores añadidos en los que se incluyen imágenes, mapas y datos gráficos sobre pequeñas pantallas. En conclusión en la actualidad Venezuela se plantea la necesidad de crear las condiciones requeridas para la implementación de los nuevos estándares de radiodifusión sonora digital, lo cual supone la adopción de un modelo de radio digital que refleje la capacidad nacional real para avanzar en la incorporación de las nuevas tecnologías que apuntan hacia la disminución de las brechas que actualmente limitan la figuración en el mundo globalizado. La autoridades gubernamentales de este país trabajan en el estudio de las inversiones requeridas, el impacto económico y la recuperación de la inversión, que involucra la migración de los sistemas de radiodifusión sonora analógica a los sistemas de radiodifusión sonora digital; motivo por el cual, se ha diseñado una encuesta con el objetivo de conocer su interés en la implementación de dichos sistemas.

Lo que sí es cierto y ampliamente conocido, es que en Venezuela la radiodifusión sonora es una industria que mueve mucho dinero y donde se encuentra una parte del sector productivo del país, que sea cual sea el sistema adoptado, seguirá trabajando por mejorar con ética y profesionalismo esta industria. Finalmente y sin duda alguna

que el estándar DRM es el más fuerte candidato para la implantación de la radiodifusión digital en AM, con más calidad de sonido y con menos interferencias sonoras, y el estándar DAB es el más fuerte candidato para la implantación de la radiodifusión digital en FM con más calidad comparada a la de CD.

5.1.7. CHILE

En Chile en el sector de la radiodifusión comercial, los actuales concesionarios consideran que la introducción de la radiodifusión digital redundará en una ventaja respecto a la situación actual. Esto obedece a que están conscientes que el sistema digital les permitirá transmitir más de una señal de audio en forma simultánea, con lo que su oferta programática aumentará, ampliando el mercado objetivo al cual pueden acceder y por ende aumentar la captación de recursos publicitarios.

En Chile las bandas de VHF, son ocupadas por la televisión. Este sistema propone la utilización de una nueva banda, debido a los problemas que podían presentarse al utilizar las bandas existentes destinadas a la radiodifusión sonora actual y que ya estaban asignadas. La nueva banda propuesta se encuentra ubicada en el rango comprendido entre 1.452 y 1.492 MHz.

A esta banda también se le denomina banda L y su atribución al servicio de radiodifusión sonora digital se efectuó en la conferencia de la UIT realizada en Chile en el año 1982.

En Chile se define algunos factores básicos a considerar y que inciden en la adopción de uno u otro sistema:

- Disponibilidad del espectro: Es necesario que las bandas de frecuencias consideradas para su funcionamiento por los diferentes sistemas, se encuentren atribuidas al servicio de radiodifusión.
- Mercado mundial de transmisores: Un factor que puede ser determinante al momento de tomar una decisión tiene que ver con la inversión que se deba realizar, específicamente en la adquisición de transmisores.

Para el sistema IBOC dependen de si los equipos en operación son compatibles, esto significa que sólo bastaría con agregarles un excitador digital. Lo cual en Chile prácticamente no existen equipos con esa cualidad. Finalmente, a esto debe sumarse el costo adicional que se tiene cuando se decide ocupar la cualidad de este sistema, en cuanto a transmitir en forma análoga y digital al mismo tiempo, dado que deberá considerarse además del transmisor digital, el transmisor para emisión análoga como asimismo la utilización de un duplexor, si se decide ocupar una antena común o sistema radiante diferente para cada emisión.

5.1.7.1. Aspectos políticos

Básicamente los aspectos regulatorios están determinados por decisiones que deberá tomar la autoridad, sobre políticas de desarrollo futuro del servicio de radiodifusión sonora en el país.

Sobre el particular se puede señalar principalmente las siguientes:

- Coexistencia entre el actual servicio de radiodifusión sonora y el servicio radiodifusión sonora digital.
- Desarrollo exclusivo del servicio radiodifusión sonora digital.

Este tipo de decisiones involucran modificar el marco regulatorio existente con distintos grados de relevancia, que van desde modificar los actuales Reglamentos y Normas existentes hasta una eventual modificación de la Ley General de Telecomunicaciones.

Actualmente algunos países ya han tomado una determinación referente al sistema a utilizar. Así es como la mayoría los países europeos han adoptado el sistema EUREKA 147. Queda por determinar qué sucederá con otros países. Como ejemplo cabe mencionar el caso de México que aún cuando han mostrado interés por realizar pruebas de campo con el sistema EUREKA 147, se han inclinado más por el sistema IBOC por motivos políticos y sociales.

5.1.8. ARGENTINA

En Argentina hace dos años hubo pruebas IBOC, del sistema de HD Radio AM pero no ha habido nada definitivo desde entonces, pero para Argentina probablemente es mucho más importante la normalización de las bandas de radio primero porque si va a adoptar cualquier sistema que opere en las mismas bandas de AM y FM sería importante primero tener una normalización de las bandas.

El 21 de octubre del 2004 Radio Continental y Radio Mitre realizaron la primera transmisión con esta tecnología. La Comisión de A.R.P.A.⁶⁷ fiscalizó los resultados durante 60 días y recorrieron más de 1500 kilómetros para constatar la recepción de la señal, que casi “llegó a la boca de Mar del Plata”.

El sistema usó las plantas transmisoras, ubicadas en Hurlingham y Gonzalez Catán, desde donde se emite en forma simultánea junto con la señal analógica. Los inconvenientes para la implementación en el país son dos: “el ruido blanco” provocado por las emisoras y el alto costo de la transformación, imposible de afrontar para emisoras pequeñas.

5.1.8.1. Aspectos políticos

IBiquity que nació por la fusión de dos empresas de investigación, una de ellas formada por los propios radiodifusores de Estados Unidos. La unión creó una sola empresa dedicada a desarrollar la tecnología de radio digital y a otorgar licencias a países sudamericanos como lo es Argentina.

El 11 de agosto de 2006 ARPA solicitó al COMFER⁶⁸ una norma que autorizara a las emisoras de AM a realizar, “con carácter experimental”, transmisiones en el sistema de radiodifusión sonora digital. El pasado 9 de febrero, el organismo de control dictó

⁶⁷ Asociación de Radiodifusoras Privadas Argentinas

⁶⁸ Comité Federal de Radiodifusión

la Resolución N°47/07, que aprobó el “Reglamento para el otorgamiento de autorizaciones para la realización de pruebas en los sistemas de radiodifusión sonora digital de las emisoras del servicio de radiodifusión sonora por modulación de amplitud”. Donde se compartió la experiencia de la puesta en marcha de la primera transmisión de radio digital en el país.

“La industria necesita que el espectro sea administrado conforme a los planes técnicos, que se ejecute el control”, opinó un delegado de la comisión de estudio en Argentina. Otro punto a considerar en cuanto a los contenidos, será el delay o retraso de 8,5 segundos que tiene la señal digital. Los radiodifusores plantearon como un verdadero desafío este detalle, sobre todo considerando el rol que juega el fútbol para el mercado local.

Por su parte, Norberto Solís, presidente de la Comisión de Electrónica y Comunicaciones del CAI anticipó que en este año habrá espacio para otros estándares, que realicen pruebas en el país para de acuerdo al resultado de ese caso de estudio tomar una decisión que sistema es mejor para el país.

5.1.9. ECUADOR

Si se compara en el país el desarrollo digital de las telecomunicaciones con el sector de radiodifusión, se observa que el proceso de transición de analógico a digital en lo que a la transmisión por radio de señales digitales se refiere, está retrasado en nuestro país. Se puede observar como otras áreas afines con radiodifusión, tales como el tratamiento del audio de manera digital en estudios ó el desarrollo de sistemas de automatización para radio, se han desarrollado rápidamente, por lo que al momento se pueden adquirir equipos en el mercado e instalarlos para su operación.

Conociendo esta realidad, a fin de que nuestro país adopte un sistema digital de radiodifusión, es necesario conocer principalmente las tendencias de la radiodifusión digital en el mercado latinoamericano, así como también las tendencias a nivel mundial. Para la implementación de la radiodifusión digital sonora en las bandas de

AM y FM en el Ecuador los probables candidatos son los estándares DRM e IBOC; se ha descartado el estándar DAB debido a que no trabaja en las bandas de frecuencia que normalmente se trabaja en nuestro país.

La implantación del estándar DAB ha sido relativamente lenta, sus más importantes competidores son IBOC y DRM; que permiten una mejora en cuanto a la calidad de audio, así como el envío de datos y la multiprogramación; gracias a sus características como el uso de la misma infraestructura que se usa actualmente, permite también al oyente escoger entre un sistema analógico o digital, a la vez pueden operar en las mismas bandas de frecuencia tanto en AM como en FM.

En Ecuador se han realizado pruebas de transmisión con el sistema DRM gracias al interés de HCJB. Estas pruebas de transmisión son realizadas en onda corta, HCJB espera realizar próximamente pruebas en la banda AM, solamente necesita la actualización de sus transmisores, que están siendo desarrollados por su cuerpo de ingenieros. Existen rumores que una importante estación radiodifusora del país ha firmado un acuerdo con la corporación Harris, para realizar pruebas de transmisión con el sistema IBOC. Es muy difícil que se realicen pruebas con el estándar DAB, ya que los equipos para la implementación de un sistema de radiodifusión con este estándar son muy costosos.

5.1.9.1. Aspectos políticos

En Ecuador la adopción de la tecnología digital para la Radiodifusión ecuatoriana es un tema que está empezando a ser estudiado por parte del Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión (CONARTEL), y otros organismos vinculados a los sectores de las comunicaciones y de la electrónica. La conformación de este Grupo de Estudio, es la primera actividad oficial de parte del Estado Ecuatoriano con el fin de fomentar la implementación de la tecnología de la radiodifusión digital en el Ecuador, por lo que la posición que se adopte en el seno del Grupo, permitirá establecer una posición a nivel de Estado Ecuatoriano en las diferentes instancias de Regulación Internacional.

En Ecuador el CONARTEL o los posibles nuevos entes reguladores deberán decidir si la radiodifusión ecuatoriana adoptará el estándar norteamericano (IBOC), el sistema DRM o el estándar europeo (DAB Eureka 147).

Para que nuestro país adopte el sistema digital de radiodifusión IBOC, es necesario conocer las tendencias de crecimiento del estándar en el mercado latinoamericano así como también las tendencias a nivel mundial, ya que solo ha sido implantado en EE.UU. y está empezando con pruebas en MEXICO y en otros países sudamericanos.

Como se indicó anteriormente a nivel mundial no existe aún una norma regulatoria para la radiodifusión digital, sin embargo, algunos países han iniciado sus políticas regulatorias en base a recomendaciones de la UIT. En nuestro país existe la propuesta de establecer claramente los objetivos del Grupo de Estudio en base a tres ejes principales como son el aspecto técnico, el aspecto político social y el aspecto de negocios.

5.2. MODELO DE TRANSICIÓN

La evolución de las opciones de distribución de medios de comunicación y el cambio de la cadena de valor de los medios de comunicación obliga a los radiodifusores a reconsiderar su lugar en el mundo de los medios de comunicación, la manera en que se regula la radiodifusión pública nacionalmente y por organismos internacionales y la manera en la que sus actividades se financiarán en el futuro.

También los radiodifusores de radio digital deben evaluar la medida en la que se necesitan cambios en la política de programación y cómo y cuándo introducir contenido multimedia e interactivo, además del tema de cómo gestionar los derechos de contenido en el nuevo entorno. Deben redefinir su lugar en la nueva cadena de valor, y su relación con las otras organizaciones privadas y públicas, que forman parte de la cadena. Esto incluye a organizaciones cuyo margen de operaciones las convierten en nuevos “controladores de acceso” al público. Los radiodifusores de

servicio público deben revisar la manera en la que manejan sus procesos de producción, infraestructura técnica y organización.

La provisión de medios de comunicación de servicio público no será uniforme, manifestándose como un único concepto, que es el mismo para cada institución. Pero se intercambiarán visiones y objetivos. En tanto se desarrollan nuevas formas de distribución de programas, la institución debe ser un organismo eficiente, vivo y cambiante, que responda al entorno mientras conserva sus valores esenciales y objetivos.

Es imposible predecir las escalas de tiempo para las transiciones entre las distintas etapas, que variarán según las partes del mundo. Hay diferencias en las coyunturas económicas, gustos, tamaños de población, e infraestructuras existentes, que influirán sobre ellas, incluso dentro de las naciones latinoamericanas. Podemos predecir que éstas serán las tres etapas del consumo de medios de comunicación, pero las fechas de los cambios y los probables períodos de superposición son mucho más difíciles de predecir.

El modelo de tres Etapas de la evolución de los sistemas de distribución de medios de comunicación electrónicos, es una interpretación simple de las tendencias actuales. Es importante darse cuenta de que las tres etapas se solaparán unas con otras. No son consecutivas, en el sentido de que una no sustituirá bruscamente a la otra. De hecho, algunos usuarios de medios de comunicación europeos están ya utilizando las tres maneras de consumo. La Etapa 2 (multicanal digital) será un sustituto de la Etapa 1 (canales analógicos), y de este modo donde no se necesite por más tiempo la Etapa 1, ésta puede acabar. Sin embargo, habrá una relación diferente entre la Etapa 2 y la Etapa 3, que será de sinergia más que de sustitución.

A lo largo de las nuevas etapas, el contenido ofrecido incluirá progresivamente más "multimedia" e "interactividad". Los servicios harán más uso de la capacidad técnica disponible para que el espectador interactúe con los programas a través de su control remoto, el teclado o el teléfono móvil.

Uno de esos servicios es el “podcasting” que ya ha causado, en algunos países, un cambio importante en las audiencias jóvenes ya que han pasado de la radio a los nuevos contenidos descargables personalizados, y esto puede ser un indicador de las tendencias futuras. El usuario puede no abandonar los programas para pasar a los programas a la carta, pero habrá capas adicionales de multimedia y programas a la carta añadidos selectivamente por el proveedor de medios de comunicación y utilizados selectivamente por el radioescucha. Una visión a la que los Radiodifusores de Servicio Público podrían aspirar es la siguiente: tener un núcleo central de radiodifusión alrededor al cual se incorporen servicios suplementarios, adicionales y opcionales de multimedia y de programación, distribuidos bien por la propia red de radiodifusión o, a su discreción, por Internet de forma gratuita o por el operador de una red a través de banda ancha o teléfono móvil.

Existen muchos factores que pueden afectar al éxito de tales sistemas de ‘red de contenido cooperativo’ (disponibilidad de infraestructura, costos, facilidad de uso, y otros), pero este modelo podría esbozar la futura cara de la ‘convergencia’. Sin embargo, las primeras implementaciones por operadores de red no reflejan esta visión de lo que es básicamente una ‘plataforma cooperativa abierta’.



FIGURA 5.1 Cadena de valor de los medios de comunicación [34].

Con la aparición de la radio digital, y las experiencias de los países que han adoptado los nuevos servicios, se ha desarrollado ciertos principios básicos de transición que un modelo de digitalización de radio debería seguir:

- La radio digital, debe ser económicamente accesible, en lo que se refiere a la adquisición de tecnología y licencias.
- Las radios digitalizadas, deben poder modificar u ofrecer nuevos servicios.
- Los receptores deben estar disponibles y asequibles para los sectores de bajos ingresos.
- Optimización y ahorro de espectro radioeléctrico.
- Optimizar las campañas de información por parte de las emisoras y los gobiernos, para poder completar con éxito la transición.
- Economías de escala: se favorecerá su generación, a fin de que el precio de los receptores sea accesible al público radioescucha y para que se cuente con la diversidad de productos, facilitando con ello la migración a la tecnología digital.
- Continuidad del servicio analógico: para garantizar al público radioescucha, durante el periodo de transición a la tecnología digital, la recepción del servicio analógico.
- Servicio Universal: para generar las condiciones, a fin de que el servicio digital llegue a todo el país en forma gradual y progresiva.
- Seguridad jurídica: se generaran las condiciones necesarias para la realización de las inversiones en un proceso de largo plazo, con claridad en las obligaciones y compromisos que se adquieran.
- Nuevos servicios asociados y adicionales: para impulsar su desarrollo, aprovechando las condiciones de movilidad, contenido y gratuidad de los servicios, así como la convergencia tecnológica.

Hay que tener presente, que lo que más se discute es la transición de la televisión analógica a digital, pero en algunos países, esta discusión abarca el plano de la radiodifusión sonora.

Según encuestas Europa no se encuentra todavía preparada para un apagón analógico en el 2010. En Estados Unidos una parte de la población no se preparó para la transición. Por tal motivo el tema de transición tiene mucha importancia para

los reguladores. Ya que el problema radica en el tiempo que toda la población pueda comprar receptores digitales o al menos los convertidores.

5.3 OPORTUNIDADES Y RETOS DE LA RADIO DIGITAL

Ha iniciado la cuenta regresiva para el medio radiofónico, al igual que cuando lo hizo con la televisión, para dar el salto cualitativo que le permita hacer frente al nuevo entorno digital multimediático.

Para algunos teóricos las predicciones fueron menos que alentadoras para el futuro de la radio por el espectáculo que representó en su momento la industria televisiva; lo mismo sucedió cuando llega el medio radiofónico para hacerle competencia a la prensa, sin embargo los tres medios hoy día ejercen una férrea competencia por mantener a sus audiencias cautivas. Se dijo entonces que la Televisión acabaría con la Radio, como en otra época se predicó de la Radio respecto de la prensa. Hoy cabe afirmar que la radio vive y se ha renovado gracias, precisamente a la televisión.

Con la introducción de la tecnología digital en su proceso de producción emisión y recepción, al menos el medio radiofónico tendrá una oportunidad variada para diversificar el tipo de producto (programas) que le puede ofrecer a su público que en su mayoría se localizará entre los jóvenes. El reto en el cambio de la programación análoga a la digital, en todo caso, estará determinado por esa constante actualización de contenidos y por la misma posibilidad de interactividad que la tecnología digital impone entre los emisores y receptores.

La radio tiene, al menos en teoría, una buena posición de partida para enfrentarse a los cambios derivados del uso de nuevas tecnologías en el entorno cotidiano, con posibilidades destacadas para los emisores como la tendencia a la diversificación y personalización de la información de la información y el entretenimiento, especialmente valoradas por los jóvenes y el ámbito musical.

Vista desde el punto de vista tecnológico y en un entorno de una audiencia que es muy inquieta por naturaleza, la radio deberá utilizar todo el potencial de las nuevas

herramientas para personalizar más los contenidos de su programación. Deben aprovecharse los recursos que le ofrece la Internet con el Chat, y la misma posibilidad de comunicación móvil que le ofrece la telefonía celular por mencionar algunos de los recursos que ya se están explotando en la práctica por la radio analógica.

La radio particularmente en América Latina, debe pensar en cómo mantener a su audiencia cautiva porque es imposible pensar que en los años venideros será desplazada por la nueva industria audiovisual digital. Por otra parte, no debe olvidarse que la misma radio análoga o tradicional se ha visto afectada por la introducción de la tecnología digital audiovisual, por lo que debe empezar a visualizar de qué forma se pueden incluir esas herramientas para facilitar la interactividad entre las comunidades y sus gobernantes y no sólo para su beneficio comercial.

5.4. OBJETIVOS DE LA RADIO DIGITAL

Para facilitar la introducción de esta tecnología digital, los países de América Latina durante este año se realizó un taller denominado "El fin de la radio" en (Argentina),⁶⁹ en el que se discutieron estos temas. De las reflexiones que se suscitaron sobre el apagón analógico y la digitalización surgió que habría cuatro objetivos necesarios:

- Las radios tienen que hacer uso de los soportes digitales para hacer mejor lo que hacen (los teléfonos como unidades móviles, mensajes de texto e internet para abrir nuevos canales de participación, mejor uso de internet como fuente de información, etc.) Aprovechando la ventaja de la proximidad con la comunidad.
- Las radios tienen que convertirse en digital-multimedios. En la era digital no hay radio, televisión y prensa, sino audio, imágenes y texto.

⁶⁹ **Memoria del Encuentro "El Fin de la Radio"**, Interconexiones, realizado en Argentina entre el 24 y 26 de Abril 2008.

La radio tiene que reconocer y desarrollar sus capacidades. Tiene que ofrecer servicios y contenidos a través de todos los canales (internet, celulares, podcasts). Eso va a ser complicado. Habrá que desarrollar nuevas capacidades, nuevas formas de hacer publicidad, nuevas fuentes de ingreso.

- Las radios deben trabajar para que existan políticas públicas favorables, por ejemplo para garantizar su acceso a los canales híbridos y digitales es necesario que las políticas públicas garanticen un espacio para medios locales en los canales digitales, que la radio este en el cable, en internet, en el teléfono, etc.
- Las radios tienen que facilitar la convivencia de las tecnologías analógicas existentes con las digitales que se introducirán, formulando planes para la adjudicación de canales híbridos, canales digitales y el reordenamiento de las frecuencias analógicas en las que actualmente operan las emisoras.

5.5. ASPECTOS COMERCIALES

Los cambios tecnológicos, no quiere decir que relacionemos a una idea de “progreso” social y tampoco quiere decir que todos sean verdaderos cambios. De hecho el avance de las tecnologías, al potenciar la capacidad humana de transformación de su medio socio cultural, no hace más que demostrarnos que nuestros problemas no son tecnológicos sino políticos y comerciales. En muchos casos la tecnología no responde a necesidades o demandas sociales reales y si bien no hay que desestimar las posibilidades que brindan estas tecnologías, libradas (y producidas) a la lógica del mercado, suelen profundizar las condiciones actuales más que ayudar a su transformación.

La evaluación de los diferentes sistemas no finaliza con un correcto análisis de los aspectos tecnológicos, sino que uno de los aspectos importantes que debe también ser estudiado es la parte comercial, pero no como un análisis costo beneficio como el que habitualmente se realiza en las empresas para la incorporación de nueva

tecnología, sino como un estudio socioeconómico y el impacto que tendrá en la sociedad. En esta sección simplemente se presenta algunos aspectos comerciales a considerar en la implementación de la radiodifusión digital; no obstante, el país, de acuerdo a sus características socio económicas será el encargado de formular modelos comerciales y servicios alternativos adecuados, para la explotación e instalación del sistema de Radio Digital en el Ecuador. Dado que la experiencia ha demostrado que no basta basarse en modelos de negocios o de mercado de otro país, ya que es indispensable conocer las condiciones comerciales específicas de nuestro país. Algunas consideraciones se exploran en detalle a continuación.

5.5.1 SIMULCASTING

Las nuevas radiodifusiones digitales no son compatibles con las actuales tecnologías como son las analógicas, por tal motivo no pueden ser recibidas sin tener que comprar un nuevo receptor. Esta circunstancia obliga a la realización de transmisiones simultáneas de los nuevos servicios digitales con los actuales analógicos, este proceso recibe comúnmente el nombre de “simulcasting”. Además se debe establecer un período para que los distintos radiodifusores puedan llevar a cabo las inversiones correspondientes para la puesta en aire de sus respectivas transmisiones totalmente digitales.

El período de simulcasting se extenderá hasta que la gran mayoría de los oyentes o televidentes hayan adquirido los receptores digitales de tal manera de interrumpir definitivamente las transmisiones analógicas. La duración de este período estará de acuerdo a las condiciones comerciales de mercado que facilitarán en mayor medida a la población la adquisición de sus receptores digitales con el objetivo de garantizar que un mínimo porcentaje de la población quede excluido del servicio de radiodifusión al apagar las transmisiones analógicas.

5.5.2 DE ANALÓGICO A DIGITAL

El audio digital requiere menos espectro de frecuencia y menos potencia de los transmisores y permite una mayor elección de oferta dentro del mismo ancho de

banda. La elección de una u otra manera tendrá consecuencias en los costos de los despliegues, en el servicio ofrecido y en el aprovechamiento del espectro.

5.5.3 DEL FLUJO “A LA CARTA”

La radio de flujo tradicional, formateada para géneros de programas específicos o grupos de audiencia específicos será suplantada por servicios a la carta o casi a la carta, en los que los oyentes pueden coger y elegir los programas deseados cuando les convengan.

5.5.4 DE LA RADIO DE MASAS A LA DIFUSIÓN PERSONALIZADA

Para satisfacer las demandas de los oyentes, que exigen una total libertad de elección, los radiodifusores deben ofrecer una amplia gama de formatos y la disponibilidad de equipamiento a costos accesibles. El mismo contenido se puede dividir o hacer versiones para diferentes canales y puntos de escucha, o incluso puede ser automáticamente repetido para servir a diferentes oyentes en diferentes momentos. Al utilizar este método, denominado radio con sinergia digital (“Digital Synergy Radio”), se hace posible para el radiodifusor multiplicar los puntos de escucha con costos limitados.

5.5.5 DE UNA PLATAFORMA A MULTIPLATAFORMA

La radio del futuro será un fenómeno de multiplataforma. La radio estará disponible en una amplia gama de dispositivos técnicos, desde consolas de alta fidelidad a receptores móviles y de bolsillo, pasando por equipos fijos y portátiles. Todo lo digital, desde televisión y ordenadores a teléfonos móviles y PDAs, será capaz de llevar el sonido y la radio a todas partes.

5.5.6 DE UN ESTÁNDAR A VARIOS ESTÁNDARES

No habrá un único estándar ganador aplicable a la radio digital. DAB/DMB, DRM, ISDB-Tsb e IBOC, todos tienen sus puntos fuertes y débiles, lo que implicará la necesidad de coexistir. Los fabricantes harán aparatos de radios duales, triples y

eventualmente multi-estándar para los consumidores. Los consumidores no tendrán que navegar a través de una jungla de frecuencias o abreviaturas, ya que los sintonizadores tendrán visores de navegación fácil que muestren las emisoras.

5.5.7 DE LA ESCUCHA PASIVA A LA ELECCIÓN ACTIVA

Con una amplia oferta de programas, y canales y cientos de miles de emisoras de radio en Internet, los oyentes serán capaces de escoger y elegir sus canales o programas favoritos, ayudados posiblemente por guías de programas electrónicos o “*radio agentes*” inteligentes.

5.5.8. COSTO DE RECEPTORES

A partir del apagón analógico, se inicia un recambio del parque de receptores de radio que no sólo es cambio tecnológico, sino que conlleva un cambio de estrategia de la oferta de servicios y de consumo: Junto a la señal de audio, las empresas suministran servicios de valor añadido. La tecnología digital genera la convergencia de las terminales de recepción: los aparatos son portátiles y multipropósito con una tecnología flexible y transparente, capaz de asimilar nuevos cambios y de fácil utilización. Estos nuevos formatos facilitan la sinergia de contenidos entre soportes y el desarrollo de servicios complementarios o de valor añadido al mensaje principal de radio.



FIGURA 5.2 Diferentes receptores digitales disponibles en el mercado.

El estado en función con empresas extranjeras, deberán adoptar políticas y alianzas para que los receptores ingresen al país y estén al alcance de la población. Otro punto importante es el manejo de la información con respecto al día y hora del llamado apagón analógico, el estado mediante los medios de comunicación deben

obligar a los usuarios a adquirir el receptor digital a tiempo, y no tener porcentajes de población sin servicio de radiodifusión digital.

Sistema	Marca	Modelo	Precio (\$)
DAB	Sony	Radio portátil Sony	28.23
	Sony	Radio portátil Sony	324.63
HD-RADIO	Sony	HD-Radio portable Sony	50
	ADA	Duo tuner component	750
DRM	Himalaya (Power) Electronics		351.56
	Morphy Richards	DRM Radio 27024 DRM/DAB Radio	182.10
ISDB-T		External Car Mobile ISDB-T Receiver and Converter	98.89
		ISDB-T Receiver USB Dongle ONE SEG	33.99

TABLA 5.1 Precios de algunos de los receptores que se ofrecen en el mercado mundial.

En este sentido cabe acotar que de acuerdo al sistema que se adopte, el receptor deberá ser accesible al usuario, de tal forma que en un periodo no mayor a un año toda la población posea un receptor digital y se produzca el llamado “apagón analógico”.

La tecnología digital puede ofrecer una gran variedad de servicios mayor que los sistemas analógicos, con una potencia de transmisión más baja y sin necesidad de recurrir a espectro adicional. Para el radiodifusor esto puede ser atractivo. Pero debe plantearse el costo de remplazar el equipo así como la compra de nuevas licencias y es poco probable que dicho costo se vea compensado con mayores ingresos (en concepto de publicidad o subsidios). Es por ello que, prevenir a los consumidores de que el servicio analógico desaparecerá con el tiempo, estimulará a los usuarios a adquirir nuevos equipos. Hasta que los receptores digitales tengan un alto nivel de penetración, los sistemas analógico y digital deberán coexistir durante un periodo prudente hasta el llamado apagón analógico.

Por tal motivo es de suma importancia la colaboración de un gran número de actores, consumidores, radiodifusores, fabricantes de equipo, vendedores al detalle y gobiernos, para que la transición a los sistemas digitales sea un éxito.

5.5.9. MERCADO MUNDIAL DE LA RADIO DIGITAL

La radio es el medio de comunicación más extendido, el más usado y el más apreciado en el mundo entero. Es un medio único y sin igual para los usuarios, siendo un componente clave en las vidas de las personas. Ningún otro medio llega a tanta gente con tal variedad de contenido y usos, aportando con información, entretenimiento y ayuda a la integración e identidad social.

Cada vez son más los países que prueban o implementan un nuevo estándar. Los estándares son apuestas comerciales, algunos países los aplican a los mercados existentes y otros no.

5.5.9.1. Países que usan DAB

DAB se ha desarrollado en Europa y Canadá. Las innovaciones que presenta DAB son DAB+ y DMB, las mismas tienen cierto grado de interés y están siendo probadas en algunos países del mundo.

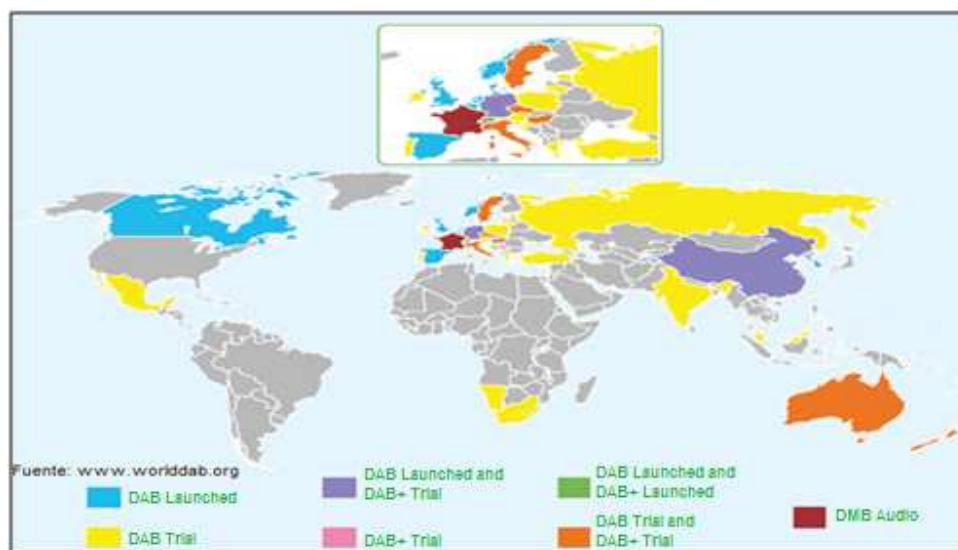


FIGURA 5.3 Distribución del sistema DAB en diferentes países del mundo [37].

	Países con DAB
1	Australia
2	Canadá
3	Bélgica
4	China
5	Croacia
6	Dinamarca
7	Alemania
8	Mónaco
9	Países Bajos
10	Noruega
11	Portugal
12	Singapur
13	Corea del Sur
14	España
15	Suecia
16	Suiza
17	Reino Unido

TABLA 5.2 Países con el sistema DAB implementado.

5.5.9.2. Países que usan IBOC

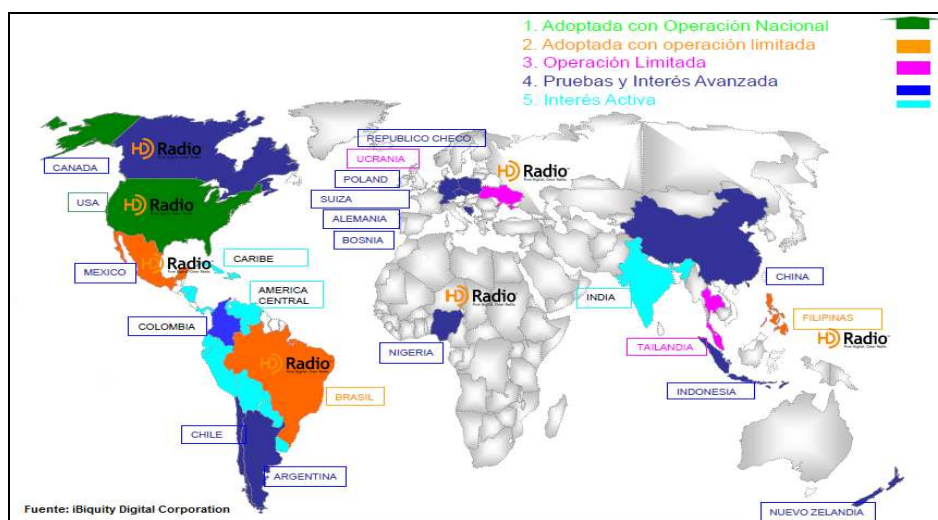


FIGURA 5.4 Distribución del sistema IBOC en diferentes países del mundo [20].

Para el caso de este estándar el único país que lo tiene implementado es Estados Unidos, pero también existen países que lo han adoptado con operación limitada y otros que se encuentran en la fase de pruebas o muestran algún interés.

5.5.9.3. Países que usan DRM

País	Estado
Hungría	Pruebas
Reino Unido	Implementado
España	Implementado
Alemania	Implementado
Francia	Implementado
Estados Unidos	Pruebas
Libia	Pruebas
Japón	Pruebas
Canadá	Pruebas
Nueva Zelanda	Pruebas
Países Bajos	Pruebas
Italia	Implementado
Portugal	Implementado
Suecia	Pruebas
Bélgica	Pruebas
Rusia	Pre-Implementación
Luxemburgo	Implementado
Ecuador	Pruebas
India	Implementado

TABLA 5.3 Países con elección y pruebas del sistema DRM.

El siguiente mapa muestra las transmisiones realizadas en los distintos países así como fases de prueba y preparación. Los receptores DRM, mediante un acuerdo de cooperación con el consorcio DRM y el WorldDAB Forum, pueden funcionar

conjuntamente con el estándar DAB. El sistema DRM presenta receptores aun caros, por lo que se encuentra aun en su primera etapa de desarrollo.

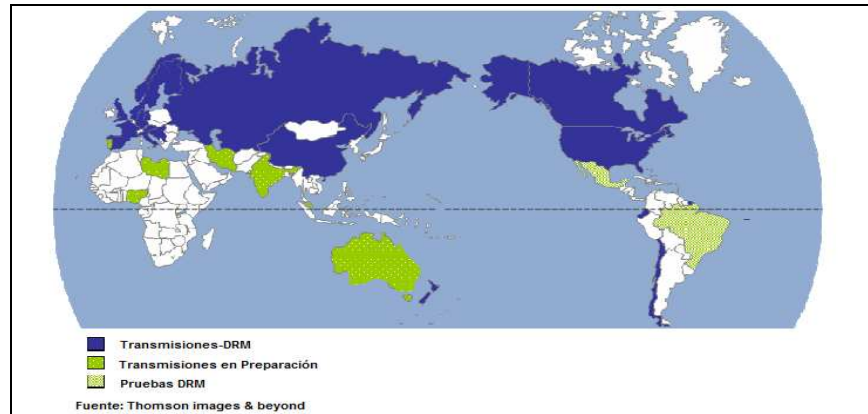


FIGURA 5.5 Distribución del sistema DRM en diferentes países del mundo [19].

5.5.9.4. Países que usan ISDB-Tsb

La tecnología Isdb-Tsb se considera una parte de Isdb-T, esta tecnología se ha aplicado en Japón, así mismo existen países que están probando el estándar Isdb-T. Entre estos se puede mencionar los siguientes:

País	Estado
Japón	Implementado Isdb-T e Isdb-Tsb
Filipinas	Experimental Isdb-T
Brasil	Implementado Isdb-T
Perú	Pre-Implementación Isdb-T
Argentina	Experimental Isdb-T
Chile	Experimental Isdb-T
Bolivia	Experimental Isdb-T
El Salvador	Experimental Isdb-T
Paraguay	Experimental Isdb-T
Venezuela	Experimental Isdb-T
Ecuador	Experimental Isdb-T

TABLA 5.4 Países con elección y pruebas del sistema ISDB-T/TSB.

Entre los factores que intervienen en el desarrollo de los estándares están el tiempo de creación del estándar, la factibilidad y costo de receptores, la planificación del espectro, y servicios de valor agregado, lo que ha conllevado a que crezca un estándar más que otro.

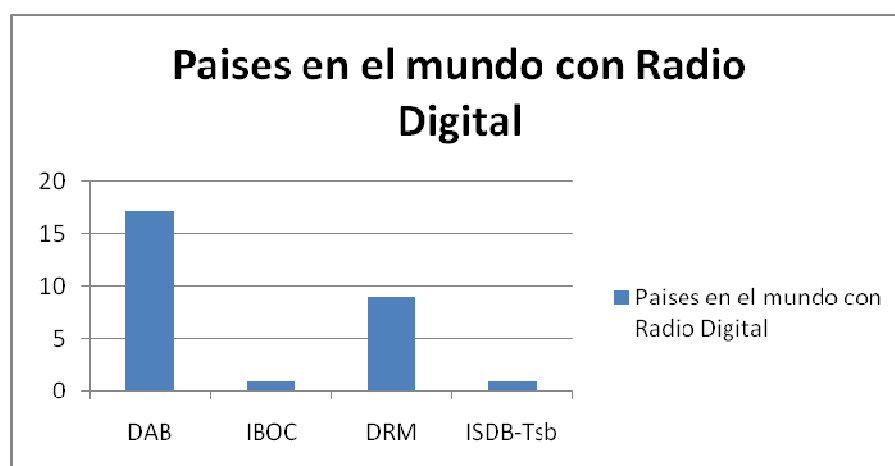


FIGURA 5.6 Distribución de los estándares de radio digital en el mundo.

5.5.10. RETOS DE MERCADO DE LAS RADIODIFUSORAS INVOLUCRADAS EN LA CADENA DE VALOR DE LA RADIODIFUSIÓN DIGITAL.

A estas alturas, a nadie le queda duda de que el futuro de la radio es completamente digital. La cuestión es el cuándo y el cómo. A pesar de que parece que el tiempo de transición puede ser largo y de que puede haber múltiples tecnologías emergentes, existen grandes retos de mercado que se plantean los radiodifusores los cuales pueden ser:

- La ampliación de la oferta, a pesar de que el mercado publicitario de la radio no parezca muy maduro, puede aumentar mucho más en el futuro. Consecuentemente a la ampliación de la oferta, se producirá una segmentación de contenidos en busca de porción de un segmento de mercado de oyentes, incluso en las fórmulas musicales.
- La búsqueda de mecanismos de investigación de audiencias más fiables, precisas y rápidas en la presentación de resultados que los actuales, sin los

cuales va a ser imposible colocar la radio en las cifras de inversión publicitaria que le corresponderían en función de las cifras de audiencia.

- Los servicios de valor añadido y la comercialización de alguno de ellos, supondrá el inicio de una nueva actividad de las compañías radiodifusoras que deberán afrontar el cambio de modelo de un espectador pasivo a un cliente que recibe un servicio por el que paga y por cuya prestación es exigente.
- La multiplicidad de tecnologías en juego obligará a los radiodifusores a un esfuerzo adicional en el mantenimiento de sus infraestructuras de soporte o en el pago por su uso.

5.5.11. MODELO DE NEGOCIO

Un cambio como el que implica la digitalización de la señal de audio abrirá la puerta a una nueva oferta de servicios y contenidos que sin duda, modificará el mercado actual. Ello no sólo requerirá que los distintos agentes implicados en este cambio tecnológico acometan inversiones para la adaptación a esta tecnología, sino que además deberán proceder a la redefinición de su modelo de negocio. La radio digital abre amplias posibilidades de negocio, para los distintos estándares en diferentes países del mundo.

En apariencia, el satélite sería la respuesta para la radio digital para cubrir todo el planeta. Sin embargo, las particularidades estadounidenses no se repetirán en otros lugares del mundo con tanta facilidad: una gran masa terrestre en latitud relativamente baja, con tan solo inglés y español como lenguas de uso masivo y el mayor número de automóviles del mundo, en relación con el tamaño de su población, de manera que la audiencia de radio móvil es equivalente a la recepción fija en hogares y oficinas.

Por otro lado, el hecho de que Europa cuente con tantos idiomas diferentes, en una gran proximidad geográfica, disminuye la eficiencia de la transmisión satelital y aumenta los costos al exigir haces puntuales en un sistema de alta órbita elíptica, dado que el uso de satélites geoestacionarios sería insuficiente para la posición

mucho más septentrional de Europa con respecto a los Estados Unidos. En España, en el extremo sur de Europa, está en latitudes similares a las ciudades de Boston y Nueva York, en el nordeste estadounidense.

Como resultado, el futuro de la radio digital vendrá por vía terrestre, pero la disparidad de sistemas no desaparece en este caso.

El proceso de introducción para la radio digital, es todavía lenta. En un estudio elaborado sobre los medios de comunicación, se confirma que en su modelo de negocio, la publicidad es la principal fuente de ingresos, y se prevé que continúe siéndolo. Mediante la aplicación de los nuevos servicios que tendría la radiodifusión digital, se prevé que diversifiquen sus ingresos, mediante el pago por contenidos, servicios interactivos, entre otros.

5.5.11.1. IBOC (In Band On-Chanel)

El sistema de radio digital terrestre en los Estados Unidos se basa en el servicio de transmisión IBOC, desarrollado por Ibiquity Digital Corp. para las bandas existentes de AM y FM. Sin embargo, IBOC le apuesta su mayor éxito al concepto de HD Radio o radio de alta definición en FM, basado en los llamados canales de servicio suplementario. La idea es reducir la fuga de oyentes radiofónicos causada por la radio satelital, la Internet y los reproductores personales, con una oferta de servicios secundarios para atraer o retener audiencias.

Pantalla para datos, informes del tiempo y el tráfico a tiempo completo o durante los horarios de mayor sintonía, noticias para nichos de audiencia y reportes informativos especializados, más la emisión simultánea en segunda lengua, entre otros servicios, hacen de México y Latinoamérica las posibilidades más fuertes de mercado para la HD Radio.

Sin embargo, la mayoría del resto del mundo hasta ahora ha tendido a adoptar formatos europeos, en especial el que se conoce como *DAB* (Digital Audio Broadcasting).

5.5.11.2. DAB (Digital Audio Broadcasting)

El WorldDAB Forum, que promueve Eureka-147 DAB en el mundo, sostiene que más de 285 millones de oyentes potenciales alrededor del mundo pueden recibir ahora más de 585 canales DAB. No obstante, durante la décima asamblea general anual de esta entidad en 2003, en Barcelona, España, se hizo evidente que el creciente éxito de DAB en el Reino Unido es todavía la excepción a la regla internacional para el formato.

En 1998, la BBC hizo la emisión de prueba de los primeros servicios digitales del Reino Unido. Para fines de 2003, el grupo de mercadeo de radio digital, Digital Radio Development Bureau (DRDB), estimaba que había 500 mil radios digitales autónomas en los hogares del Reino Unido, y llegarían a un millón en diciembre de 2004. En mayo de 2004, las cifras de audiencia del DRDB mostraron que una emisora privada de Londres, que difunde en 20 canales digitales multiplexados, alcanzó 961 mil oyentes en sus emisiones digitales.

En contraste, otros países de Europa están luchando por mantener sus servicios DAB, e incluso algunos están cancelando sus operaciones DAB y admiten ver a IBOC como una alternativa posible.

5.5.11.3. DRM (Digital Radio Mondiale)

Para frecuencias inferiores a tres megaciclos (como las utilizadas por los servicios de onda media, larga y onda corta), el sistema DRM, apoyado por radiodifusoras internacionales como BBC Worldservice, Deutschland Radio, Deutsche Welle, Radio Nederland, Radio Canada International/CBC, Swedish Radio Internacional y Voice of America, entre otras, se muestra como una verdadera promesa para revolucionar la calidad en la recepción de onda corta, pues fue diseñado para combatir el desvanecimiento y la propagación de las señales analógicas de onda corta de larga distancia.

En junio de 2003, algunas transmisiones en vivo de DRM coincidieron con la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones, de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), en Ginebra, Suiza. La idea de las radios internacionales es mejorar con DRM la calidad del audio de las emisiones de onda corta, a fin de aprovechar el actual potencial de 600 a 700 millones de receptores de onda corta en uso alrededor del mundo. A fines de 2004 fue lanzado el primer receptor de radio DRM para consumidores.

De acuerdo con las cifras de ventas de receptores y el uso de onda corta doméstica, los promotores de DRM consideran que sus mejores mercados potenciales son Alemania, Gran Bretaña, Francia, China, India, Australia y los países de la extinta Unión Soviética.

5.5.11.4. ISDB-T

Por su parte, el formato japonés ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting o difusión digital de servicios integrados), inaugurado en 2003, se usa tanto para servicios de radio como de televisión.

El sistema trae consigo, varios servicios, entre los que se puede mencionar los interactivos, video, entre otros. Todo esto, debido a las facilidades de adaptar los contenidos al gran ancho de banda que usa.

5.5.12. CAMBIOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONSUMIDOR

Los cambios incluyen en que la tendencia a ver y escuchar los medios de comunicación sea menos una experiencia colectiva y más una experiencia individual. La individualización de los medios de comunicación está impulsada por las posibilidades tecnológicas para proporcionar más servicios personalizados. Del mismo modo que Internet integra los medios de comunicación tradicionales para usuarios individuales y grupos, los teléfonos móviles siguen cada vez más el mismo patrón. Los programas para uso en dispositivos móviles se dirigen principalmente a las audiencias jóvenes. En algunos países europeos los oyentes jóvenes sustituyen

las emisiones de radio por contenido de radio descargado de Internet mediante el 'podcasting'.

En la actualidad están teniendo mucho éxito los 'Podshows' promovidos desde las páginas 'i-Tunes' (responsable del 70% del podcasting hoy en día) dirigidos a los consumidores de PC y a los oyentes que utilizan grabadores de bolsillo (como el 'i-Pod' de Apple y los últimos teléfonos móviles). El contenido generado por el usuario (UGC) también juega un papel muy importante en los nuevos medios de comunicación.

CAPÍTULO 6

ASPECTOS DE REGULACIÓN DE LA RADIODIFUSIÓN EN EL PAÍS

6.1 INTRODUCCIÓN

En el presente estudio, se expondrá los entes de regulación de radiodifusión actual en el país, así mismo, se expondrá el ordenamiento general del espectro y las bandas de frecuencia asignadas a dichos servicios. Por último se expondrá un modelo general de regulación con los estándares de radiodifusión digital estudiados.

6.2 LOS ORGANISMOS DE CONTROL

Actualmente en el Ecuador son 4 los organismos que regulan las telecomunicaciones. Y una de ellas se encarga del control de la radiodifusión de audio y televisión.

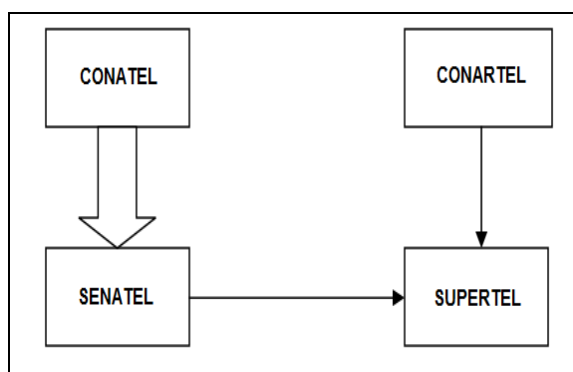


FIGURA 6.1 Organismos de control de las Telecomunicaciones en el Ecuador.

6.2.1 CONATEL

Es el encargado de dictar las políticas de estado en cuanto a Telecomunicaciones. Asimismo aprueba el plan de frecuencias y el uso del espectro radioeléctrico. Este organismo establece las normas para que existan servicios con condiciones de óptima calidad.

6.2.2 SENATEL

Administra los recursos, como es el espectro de frecuencias, ejecuta las normas establecidas por el CONATEL, así mismo administra la regulación de telecomunicaciones y el desarrollo de las tecnologías de información y comunicación.

6.2.3 SUPERTEL

Es el organismo de control del sector, cumple y hace cumplir las resoluciones del CONATEL, controla y monitorea el espectro radioeléctrico, así como supervisa los contratos de concesión.

6.2.4 CONARTEL

Es el organismo encargado de regular la radiodifusión de audio y televisión. Así mismo es el encargado de la asignación de frecuencias previo un informe técnico por parte de la SUPERTEL, el cual analiza la disponibilidad de los canales, de acuerdo al Plan Nacional de Distribución de Frecuencias.

6.3 EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA RADIODIFUSIÓN

La UIT ha dividido al mundo en tres regiones, Ecuador se encuentra en la región 2. Las bandas se han designado en orden creciente, las cuales para radiodifusión AM, FM y TV son las siguientes:

Rango de Frecuencias	Designación	Usos
300 KHz a 3 MHz	MF(Medium Frequency)	Radio AM
3 MHz a 30 MHz	HF(High Frequency)	
30 MHz a 300 MHz	VHF(Very High Frequency)	Radio FM y TV
300 MHz a 3 GHz	UHF(Ultra High Frequency)	TV

TABLA 6.1 El espectro radioeléctrico para radiodifusión [1].

El servicio de radiodifusión se establece en las siguientes bandas de frecuencia:

6.3.1 AM EN ONDA MEDIA

Este servicio se establece en la banda que va de los 530 KHz a los 1600 KHz, con una canalización o separación de banda cada 10 KHz y una anchura de banda necesaria de 10 KHz, esto conlleva a tener 118 canales. El ancho de banda puede ser extendida hasta 20 KHz dependiendo de cada administración. Para el caso de Ecuador es 15 KHz.

6.3.2 AM EN ONDA CORTA

El servicio establece la banda que va desde los 2.3 MHz hasta los 26.1 MHz, con una canalización de 5 KHz y una anchura de banda de 5 KHz.

6.3.3 FM

La banda atribuida a este servicio va desde los 88 MHz hasta los 108 MHz, con una canalización cada 200 KHz y una anchura de banda de 220 KHz. Esto ha conllevado a tener 100 canales numerados desde el 1 hasta el 100.

6.3.4 TV

La banda atribuida para este servicio va desde los 54 MHz a los 890 MHz. Cada canal ocupa 6 MHz, lo que conlleva a tener 83 canales, para evitar interferencias, la separación entre canales es de 6 MHz.

6.3.5 FRECUENCIAS AUXILIARES DE RADIODIFUSIÓN Y TELEVISIÓN

Estas frecuencias son asignadas a los servicios fijo y móvil, necesarias para la operación y funcionamiento de las estaciones y sistemas de radiodifusión y televisión; estas frecuencias corresponden a los enlaces radioeléctricos entre el estudio y transmisor, así como entre estaciones repetidoras.

6.4 PROPUESTA GENERAL PARA RADIODIFUSIÓN DIGITAL

Los diferentes puntos que se exponen a continuación, se los relaciona en forma general, con los diferentes sistemas de radiodifusión digital estudiados, para que se pueda establecer un sistema común que sea apto para el país.

Las diferentes modificaciones técnicas de acuerdo al sistema de radiodifusión digital a ser usado, deben hacerse, de acuerdo a las regulaciones de la ITU, ETSI, NRSC y ARIB, que corresponden a cada uno de los estándares estudiados.

6.4.1 EL ESPECTRO PARA RADIODIFUSIÓN DIGITAL

El espectro es un recurso no renovable, por tal motivo, la mejora en eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico, ayudaría a tener más servicios, así como reservas de espectro, para futuras tecnologías inalámbricas.

No todas las frecuencias disponen de las mismas capacidades de cobertura y de comportamiento frente al ruido y las interferencias, lo que hace que algunas sean más solicitadas para determinados negocios que otras. Además, los diferentes tipos de servicios requieren distintos márgenes (bandas de frecuencia) específicos.

Para la gestión del espectro radioeléctrico, hay una serie de normas fijadas a nivel internacional por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Este organismo con sede en Ginebra (Suiza) es el encargado de organizar el uso de las frecuencias radioeléctricas y de promover una serie de normativas para que la gestión del espectro se haga de manera uniforme y eficiente, sin que su uso perjudique o interfiera sobre otros.

La demanda en la utilización del espectro es creciente en los últimos años debido a la aparición de nuevos servicios, como los sistemas de comunicación móviles, las nuevas redes de difusión de la televisión digital terrestre y el acceso en movilidad a la banda ancha. Por tanto, el cumplimiento de estas normativas permite ofrecer estos servicios con garantía de calidad.

6.4.1.1 Reordenamiento del espectro en las bandas de radiodifusión

Dependiendo del sistema a usar, para el caso de DRM o IBOC, no se debería hacer ningún cambio en el espectro, hasta el apagón analógico, debido a que se seguiría operando en las bandas de AM y FM con los respectivos anchos de banda. En este lapso de transición, se debería atribuir y asignar frecuencias equitativamente a todos los radiodifusores, para cuando en el futuro, se empiece a emitir con señales totalmente digitales, exista un ambiente de armonía entre todos los radiodifusores.

Para el caso de los otros sistemas, DAB es un sistema totalmente probado, los sistemas analógicos seguirían funcionando, pero el inconveniente prevalece en el hecho de que hay que migrar a una banda diferente para el modo digital. DAB opera en varios modos, para el caso de radiodifusión sonora digital terrenal, se usa parte de la banda de VHF, donde los servicios son emitidos en un canal de aproximadamente 7 MHz.

ISDB-T, estándar probado en Japón, funciona en las bandas de VHF, que corresponden a los canales de televisión, con anchos de banda de 6, 7 y 8 MHz.

Aunque DAB e ISDB-T ofrecen mejores servicios, el ancho de banda que requieren es mayor que en los casos de DRM e IBOC, los cuales operan en las mismas bandas analógicas.

El hecho de usar la modulación COFDM implica, una alternativa al uso de redes de frecuencia única (SFN), todos los sistemas estudiados soportan SFN. Por lo cual si el país adquiere cualquiera de los sistemas estudiados, se debería analizar, para mejor eficiencia del espectro, el uso de SFN, lo cual requeriría un reordenamiento de las frecuencias en las redes de distribución.

6.4.2 CONVIVENCIA DE LAS TECNOLOGÍAS ANALÓGICAS Y DIGITALES

Para un uso más eficiente del espectro, se tiene la necesidad de que las tecnologías analógicas y digitales operen en la misma banda.

Las tecnologías DRM e IBOC, ofrecen convivencia en la misma banda, las otras tecnologías IBOC e ISDB-Tsb, ofrecen convivencia de la señal analógica y digital pero en bandas diferentes.

6.4.3 NUEVA TECNOLOGÍA Y NUEVOS SERVICIOS

Todos los sistemas analizados, tienen sus propias características, que desembocan en similares servicios.

Todas las tecnologías de radiodifusión digital, a más del audio que normalmente emite una radiodifusora, existe la emisión de nuevos servicios como pueden ser noticias de algún periódico, información de tráfico, servicios multimedia, y servicios pagados.

6.4.3.1 Calidad de Servicio

El estado, deberá obligar a los radiodifusores, a emitir programación de alta calidad tanto en audio como en los servicios adicionales, esto conlleva a la inversión de nuevos equipos, con formatos mejorados.

6.4.3.2 Nuevos Servicios

Los nuevos servicios ofrecidos, demandan un control por parte de los respectivos organismos nacionales de telecomunicaciones, como es el caso de los servicios de valor agregado, como son servicios multimedia, servicios secundarios (reportes informativos, noticias, informes del tiempo y tráfico), emisión en una segunda lengua, etc.

Para el caso de operación con los sistemas DRM e IBOC, los nuevos servicios son limitados, debido al ancho de banda del canal en el que operan, para el caso de DAB e ISDB-Tsb, son sistemas que trabajan con gran cantidad de información multimedia, debido a que se transmite en un gran ancho de banda de canal.

6.4.3.3 Homologación de equipos

En el momento de transición, se debe advertir al usuario, el tiempo en que ocurrirá el apagón analógico, para que el mismo pueda adquirir un receptor. Este receptor que debe ofrecer por lo menos, la mínima calidad de servicio que demandan los organismos internacionales, debe estar a un precio accesible para toda la población y no existan como en el caso de otros países, grupos de población sin un receptor digital en el día del apagón analógico.

Los precios y la calidad de los receptores para cada uno de los sistemas varían de un fabricante a otro, de acuerdo a las funciones y servicios que se encuentren en el receptor. En este sentido, el estado debe fomentar alianzas con los países fabricantes para que las industrias de receptores digitales, ingresen sus productos a precios racionales, acordes a la realidad del país.

6.4.3.4 Implicaciones para el radiodifusor

Para el radiodifusor, la introducción de la radio digital obligaría a adquirir nuevos equipos de transmisión, o actualizar los que existen. El costo de reemplazar los antiguos equipos analógicos se verá compensado por mayores ingresos por concepto de publicidad y servicios de valor agregado.

Así mismo la reglamentación, debe considerar la entrada de nuevos servicios, para que el radiodifusor pueda interactuar con los usuarios, ofreciendo un sonido de mejor calidad integrado a nuevos servicios interactivos. Esto conllevaría a que los radiodifusores se interesen en las nuevas tecnologías digitales.

6.4.4 COBERTURA

En el actual servicio de radiodifusión analógica, una estación opera con una sola antena como es el caso para ciudades grandes como Quito, en estos casos, el organismo regulador deberá analizar, si se necesitan más sistemas radiantes, para brindar un mejor servicio.

La cobertura depende de la potencia de transmisión con la que opera la estación de radio digital, ya que esta puede interferir con otros sistemas y si se usa SFN con las

áreas de cobertura adyacentes de una misma estación digital. Ésta, deberá regularse con recomendaciones de la UIT, en base a pruebas técnicas de calidad de servicio de cobertura.

6.4.5 CONCESIONES Y ASIGNACIONES

La asignación de frecuencias y el otorgamiento de concesiones para su uso deben ser a concurso abierto, transparente y público.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- La tecnología subyacente de todos los sistemas estudiados es la misma. La diferencia fundamental, radica en la banda de transmisión que se use. En este sentido, se puede acoger un sistema que esté acorde al actual uso del espectro en el Ecuador, o a su vez, modificar el actual uso y asignar nuevas bandas para los nuevos servicios de radiodifusión digital.
- El espectro radioeléctrico es un recurso no renovable. Por tal motivo, las redes de frecuencia única son una de las mejores ventajas en todos los sistemas estudiados, en cuanto al uso y ahorro del mismo.
- Los sistemas DAB e ISDB-TSB, ocupan diferentes bandas, pero la calidad y servicios que ofrecen, podrían atraer más usuarios, que los sistemas IBOC y DRM. Por contraparte, estos últimos pueden generar un mejor proceso de transición debido al sistema híbrido que traen consigo.
- Los nuevos servicios que ofrezca cada estación de radio digital, dependerá del mercado en que se encuentre, en este caso, el mercado ecuatoriano deberá tener presente las experiencias de los países que han puesto en funcionamiento los diferentes estándares de radiodifusión digital, para así, adquirir un sistema acorde a la realidad del Ecuador.
- Los actuales sistemas analógicos ofrecen un servicio con pobre calidad, como es el caso de la modulación en amplitud o eventualmente algún sistema con modulación en frecuencia, por tal motivo, a estos sistemas se los debería renovar, para así tener nuevos y mejorados servicios que interesen más a los usuarios.
- Los actuales operadores ven en la radiodifusión digital la posibilidad del ingreso de nuevos actores al negocio, y por eso quieren asegurar la concesión

de una frecuencia para el servicio digital, reconociendo que hay sistemas que proponen frecuencias distintas a las actuales. Para muchos radiodifusores la autorización del servicio digital en las mismas bandas actuales limitaría el acceso de nuevos operadores en esta actividad y por esta razón sostienen que debiera autorizarse el sistema IBOC.

- En el aspecto comercial se reconoce que la radiodifusión digital conlleva una nueva oportunidad de negocios y considerando las inversiones que deben realizarse, los actuales operadores sostienen, como postulado que la radiodifusión digital debiera entenderse como una mejora de lo actual y en este orden de cosas, esperan que la regulación que sobre la materia se dicte, les permita trasladarse o migrar a la nueva tecnología cuando las condiciones de su negocio se lo permitan.
- Se debe crear las condiciones requeridas para la implementación de los nuevos estándares de radiodifusión sonora digital, lo cual supone la adopción de un modelo de radio digital que refleje la capacidad nacional real para avanzar en la incorporación de las nuevas tecnologías que apuntan hacia la disminución de las brechas que actualmente limitan nuestra figuración en el mundo globalizado.
- El cambio o transición de la radiodifusión analógica a la digital es un proceso complejo cuyas implicaciones socioeconómicas van mucho más allá de una simple migración de tecnologías. Al mejorar tanto el alcance como la calidad de los servicios, en particular gracias a la compresión digital, el desarrollo de la radiodifusión digital es positivo, ya que se incrementan la utilización eficaz del espectro y la capacidad de la red.

7.2 RECOMENDACIONES

- Como recomendación, se propone usar los sistemas IBOC o DRM, gracias a que proveen un proceso de transición más eficiente con audio y servicios de calidad renovada en comparación con la radio analógica. Con respecto a los

demás sistemas, no existiría una nueva asignación de frecuencias como es el caso de ISDB-TSB o DAB. El problema que enfrentarían los modelos IBOC y DRM está en que las leyes actuales permiten solo 10 KHz en la banda AM. En este sentido, IBOC requiere un mínimo de 30 KHz y DRM necesita 10 KHz para transmitir una buena señal digital en forma híbrida, lo que representa baja calidad, por lo tanto para tener una buena calidad en audio, DRM necesita usar 20 KHz, si transmite en forma híbrida.

- La adopción de un sistema totalmente digital en la radiodifusión, implica modificar el marco regulatorio, considerando la coexistencia entre el actual servicio de radiodifusión sonora y el servicio de radiodifusión sonora digital o el desarrollo exclusivo del servicio de radiodifusión sonora digital. Para ambos escenarios es necesario modificar el marco regulatorio en lo referente a la cantidad de canales a transmitir por cada concesionario, como “Políticas de desarrollo de la radiodifusión digital”.
- Las industrias de la radiodifusión están desarrollando tecnologías que harán de la convergencia digital una realidad. Donde, los consumidores podrán acceder a servicios a través de diferentes terminales capaces de captar contenido multimedios y otros servicios más. Este fenómeno desvanece la frontera entre la radiodifusión tradicional y las comunicaciones digitales, razón por la cual afectará en gran medida la distribución de los medios de comunicación. En consecuencia, el regulador debe estar atento y formular una normativa que refleje dichas transformaciones.
- Establecer fondos de diverso tipo y políticas de financiamiento para la transición digital financiando así los costos del acceso a la tecnología (compra de computadoras, instalación de cableado o tecnología inalámbrica y provisión de servicios de banda ancha, entre otros). Para permitir que los radiodifusores independientes de alcance local, medios comunitarios, indígenas y públicos puedan realizar la transición desde la tecnología analógica a la digital se

necesita disponer de fondos públicos y una política activa para asegurar que no queden excluidos del avance tecnológico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

- [1] Delgado, M. (2001), Sistemas de Radio y Televisión, España: Paraninfo.
- [2] Fischer, Walter. (2008), Digital Video and Audio Broadcasting Technology, Germany: Springer.
- [3] Hoeg, Wolfgang y Thomas Lauterbach. (2003), Digital Audio Broadcasting Principles and Applications of Digital Radio, England: Wiley.
- [4] O'Leary, Seamus. (2000), Understanding digital terrestrial broadcasting, Boston: Artech House.
- [5] Tomasi, Wayne. (2003), Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, México: PRENTICE-HALL INC.

RECOMENDACIONES Y ESTANDARES

- [6] European Standard, Radio Broadcasting Systems: Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers, (ETSI EN 300 401). <http://www.etsi.org>.
- [7] European Standard, Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification, (ETSI ES 201 980). <http://www.etsi.org>.
- [8] National Radio Systems Committee (2005), In-band/on-channel Digital Radio Broadcasting Standard, (NRSC-5). www.nrsstandards.org.
- [9] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Sistemas de radiodifusión sonora digital terrenal para receptores en vehículos, portátiles y fijos en la gama de frecuencias 30-3000 MHz, (Rec. UIT-R BS.1114-6). <http://www.itu.int>

- [10] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Sistema para radiodifusión sonora digital en las bandas de radiodifusión por debajo de 30 MHz, (Rec. UIT-R BS.1514-1). <http://www.itu.int>.
- [11] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Necesidades del servicio relativo a la radiodifusión sonora digital para receptores a bordo de vehículos, portátiles y fijos, mediante transmisores terrenales, en las bandas de ondas métricas y decimétricas, (Rec. UIT-R BS.774-2). <http://www.itu.int>.
- [12] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Necesidades del servicio de radiodifusión sonora digital para receptores de vehículos, portátiles y fijos del servicio de radiodifusión (sonora) por satélite en la gama de frecuencias 1 400-2 700 MHz, (Rec. UIT-R BO.789-2). <http://www.itu.int>.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- [13] ALER, La radio popular y comunitaria en la era digital.
<http://www.aler.org/docs/la-radio-en-la-era-digital-03-10.pdf>.
- [14] Aguado, F., S. Pagel, F. Isas, La Radiodifusión en las bandas sub 30 MHz, el sistema DRM. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1032060>.
- [15] Australian Broadcasting Authority. (2003), Digital Radio Technology Update,
http://www.archive.dbcde.gov.au/data/assets/pdf_file/0018/23364/ABA_Digital_Radio_research_-_technology_update.pdf.
- [16] Del Amo, L., La onda media digital. Sistema IBOC AM.
http://coitt.es/res/revistas/Antena164_07a_Reportaje_La_onda.pdf.
- [17] Del Amo, L., La FM digital. Sistema IBOC FM.
http://coitt.es/res/revistas/Antena166_06a_Reportaje_FM_digital.pdf.
- [18] Digital Broadcasting Experts Group, Características del sistema ISDB-T, (Reporte Técnico de ARIB). www.dibeg.org/techp/feature/ANNEX-AA_spanish.pdf.

- [19] DRM Member, (2006), State of the ART Digital Radio Mondiale.
<http://www.modibec.org/download/State-of-the-art/DRM%20General%20Data.pdf>.
- [20] iBiquity Digital Corporation, (2009), Worldwide HD Radio™ Implementation Status, http://www.ibiquity.com/international/international_worldwide_coverage.
- [21] Jara, A. (2005), Multiplexación por división de frecuencia ortogonal codificada.
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcij.37m/doc/bmfcij.37m.pdf>
- [22] Jordà, S., (1997), Principios del sonido digital. <http://www.iaa.upf.es/~sergi/>.
- [23] Jordà, S., (1997), Síntesis y sonido Digital. <http://www.iaa.upf.es/~sergi/>.
- [24] Linden, T. (2003), An Advanced Application Services Framework for Application and Service Developers using HD Radio Technology.
http://www.ibiquity.com/hd_radio/iboc_white_papers.
- [25] Matías, J., La Radio Digital Terrestre en Europa Eureka 147 y DRM.
<http://www.sincompromisos.com>.
- [26] Caridad Mercedes, Nogales Tomás, La información de la posmodernidad: la sociedad del conocimiento en España e Iberoamérica, Ramón Areces, Madrid.
- [27] Nakahara, Shunji, (2003), ISDB-T for sound broadcasting Terrestrial Digital Radio in Japan.
http://www.rthk.org.hk/about/digitalbroadcasting/DSBS/ABU_AIR_2003/ses2.pdf.
- [28] Pontificia Universidad Católica de Chile, (2006), Análisis de los Estándares de Transmisión de Televisión Digital Terrestre y su Aplicabilidad al Medio Nacional.
http://www.dibeg.org/techp/feature/ANNEX-AA_spanish.pdf
- [29] Peyla, Paul J., The structure and generation of robust waveforms for fm in-band on-channel digital broadcasting, (iBiquity Digital Corporation).
http://www.ibiquity.com/hd_radio/iboc_white_papers.

- [30] Prieto, J., José Mayo, (2005), Radiodifusión Digital DAB. www.lpi.tel.uva.es-miguel-pdf-ingenieria_ondas_II-trabajos-0405.DAB.
- [31] RADIO NACIONAL DE ESPAÑA, S.A., Proyecto de Especificación y pruebas de un sistema experimental para el desarrollo de la radiodifusión sonora digital terrenal en España. http://www.rtve.es/dab/TAR_11.PDF
- [32] RADIO NACIONAL DE ESPAÑA, S.A., Estudio de la radiodifusión sonora digital terrenal en la banda L. <http://www.rtve.es/dab/tarea6.pdf>
- [33] Reese, D., S. Gross, B. Gross, (2006), Radio production worktext: studio and equipment. <http://books.google.com.ec>.
- [34] RTVE, (2007), Medios de Comunicación de Servicio Público en la Era Digital. Prado del Rey: 2007. http://www.ebu.ch/CMSimages/en/DSG2%20-%20Medios%20de%20Comunicaci%C3%B3n%20de%20Servicio%20P%C3%BAllico%20en%20la%20Era%20Digital_tcm6-55356.pdf.
- [35] Steller, M., (2006), Wimax Movil. Costa Rica, 2006. <http://www.eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0638t.pdf>.
- [36] Universidad Nacional del Sur, Principios de audio digital. <http://www.ingelec.uns.edu.ar/aad2507/apuntes.html>.
- [37] World DMB, (2009), Global Broadcasting Update DAB/DAB+/DMB. http://www.worlddab.org/rsc_brochure/lowres/5/rsc_brochure_lowres_20090114.pdf.

TESIS Y DOCUMENTOS E.P.N.

- [38] Bayas, B., (2004), Análisis de la radiodifusión digital (DAB) y su implementación en el país, Quito, 2004.
- [39] Bernal, Iván. (2007). Revisión de Conceptos Básicos de Antenas y Propagación, Quito, E.P.N.

- [40] Cadena, J., (2007), Migración de la radiodifusión analógica a la radiodifusión digital por debajo de los 30 MHz. en el país, Quito, 2007.
- [41] Chango, H., (2004), Análisis de difusión de sonido digital terrestre y satelital para receptores de vehículos, portátiles y fijos en las bandas de VHF/UHF, Quito, 2004.
- [42] Herazo, H., (2009), Estudio y Análisis de la Tecnología de Redes de Frecuencia Única (Isorefrecuencia), y su Aplicación en la Radiodifusión en las Bandas de AM y FM para la Optimización del Espectro Electromagnético en la Ciudad de Quito. Quito, 2009.
- [43] Tierra, D., (2007), Estudio de los aspectos técnicos y comerciales a considerarse para la implementación del servicio de televisión digital terrestre en las condiciones actuales del país, Quito, 2007.
- [44] Usiña, P., (2004), Estudio de la factibilidad para la implementación de difusión de sonido digital terrestre y satelital y propuesta del marco jurídico que reglamenta este servicio, Quito, 2004.

ANEXOS

ANEXO No1
RECOMENDACIONES UIT