

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE INGENIERÍA**

### **MIGRACIÓN DE LA RADIODIFUSIÓN ANALÓGICA A LA RADIODIFUSIÓN DIGITAL POR DEBAJO DE LOS 30 MHZ EN EL PAÍS**

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

**CADENA JIMÉNEZ LUIS ENRIQUE  
VÁSQUEZ ORTIZ DIEGO PAÚL**

**DIRECTOR: ING. ERWIN BARRIGA**

**Quito, Abril del 2007**

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>PRESENTACIÓN.....</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xii</b>
<b>CAPÍTULO 1: SITUACIÓN ACTUAL DE LA RADIODIFUSIÓN</b>	
<b>ANALÓGICA POR DEBAJO DE LOS 30 MHZ.....</b>	<b>1</b>
1.1 SISTEMA DE COMUNICACIÓN.....	1
1.2 MODULACION EN AMPLITUD (AM).....	2
1.2.1 TIPOS DE MODULACION EN AMPLITUD.....	3
1.2.1.1 Modulación en amplitud con doble banda lateral con presencia de portadora.....	3
1.2.1.1.1 <i>Espectro de frecuencia y ancho de banda.....</i>	4
1.2.1.1.2 <i>Coefficiente de modulación y porcentaje de modulación.....</i>	5
1.2.1.1.3 <i>Variación instantánea de una señal AM DSB-FC.....</i>	7
1.2.1.1.4 <i>Distribución de potencia.....</i>	8
1.2.1.2 Modulación en amplitud con doble banda lateral sin presencia de portadora.....	11
1.2.1.2.1 <i>Espectro de frecuencia y ancho de banda.....</i>	11
1.2.1.2.2 <i>Coefficiente de modulación y porcentaje de modulación.....</i>	12
1.2.1.2.3 <i>Variación instantánea de una señal AM DSB-SC.....</i>	12
1.2.1.2.4 <i>Distribución de potencia.....</i>	13
1.2.1.3 Modulación en amplitud de banda lateral única con presencia de portadora.....	13
1.2.1.3.1 <i>Espectro de frecuencia y ancho de banda.....</i>	14
1.2.1.3.2 <i>Variación instantánea de una señal AM SSB-FC.....</i>	14
1.2.1.3.3 <i>Distribución de potencia.....</i>	15
1.2.1.4 Modulación en amplitud de banda lateral única sin presencia de portadora.....	16
1.2.1.4.1 <i>Espectro de frecuencia y ancho de banda.....</i>	16
1.2.1.4.2 <i>Variación instantánea de una señal AM SSB-S.....</i>	16
1.2.1.4.3 <i>Distribución de potencia.....</i>	17

1.3	DEMODULACIÓN EN AMPLITUD.....	19
1.3.1	DEMODULACIÓN SÍNCRONA.....	19
1.3.2	DEMODULACIÓN ASINCRÓNICA.....	21
1.4	ESQUEMAS UTILIZADOS EN LA TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN EN AM.....	23
1.4.1	ESQUEMA DE TRANSMISIÓN.....	23
1.4.2	ESQUEMA DE RECEPCIÓN.....	24
1.5	RADIODIFUSIÓN.....	25
1.5.1	PRINCIPIOS BÁSICOS DE TRANSMISIÓN POR RADIO.....	26
1.5.2	GENERACIÓN Y PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS DE RADIO.....	26
1.5.3	SERVICIOS DE RADIODIFUSIÓN.....	27
1.6	RADIODIFUSIÓN SONORA.....	28
1.6.1	FRECUENCIAS AUXILIARES DE RADIODIFUSIÓN.....	28
1.7	RADIODIFUSIÓN ANALÓGICA.....	29
1.7.1	BANDAS DE FRECUENCIAS.....	30
1.7.2	TECNOLOGÍAS DE RADIODIFUSIÓN ANALÓGICAS.....	31
1.7.2.1	Radiodifusión con modulación en amplitud.....	31
1.8	SITUACIÓN DE LA RADIODIFUSIÓN EN EL ECUADOR.....	32
1.8.1	BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LA RADIODIFUSIÓN EN EL ECUADOR.....	32
1.8.2	PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS.....	33
1.8.3	CLASIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES SEGÚN LA POTENCIA.....	35
1.8.4	ESTACIONES DE RADIODIFUSIÓN EN EL PAÍS.....	35
1.8.5	ANÁLISIS DEL ANCHO DE BANDA EMPLEADO.....	36
1.8.5.1	Canales y anchos de banda para AM.....	37
1.8.6	REGULACIÓN DE SERVICIOS DE RADIODIFUSIÓN Y TELEVISIÓN EN EL PAÍS.....	38
1.8.6.1	Programación de las estaciones de radiodifusión.....	39
1.8.6.2	Tarifas de concesión de frecuencias de radiodifusión.....	41
1.8.6.2.1	Valor por frecuencia (valor - \$USD).....	41
1.8.6.2.2	Tarifas de publicidad y servicios de radiodifusión.....	42
1.8.7	COBERTURA PARA AM EN EL PAÍS.....	43
1.8.8	ESTADÍSTICAS DEL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN SEGÚN LA POBLACIÓN.....	45

1.9	INTRODUCCIÓN A LA RADIODIFUSIÓN DIGITAL.....	46
1.9.1	VENTAJAS Y NUEVAS FACILIDADES DE LA RADIO DIGITAL CON RESPECTO A LA RADIO ANALÓGICA.....	46

**CAPÍTULO 2: ESTUDIO DE LOS ESTÁNDARES DE RADIODIFUSIÓN  
DIGITAL POR DEBAJO DE LOS 30 MHZ.....49**

2.1	IBOC (IN BAND ON-CHANNEL).....	49
2.1.1	SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN/RF.....	50
2.1.2	SUBSISTEMA DE TRANSPORTE Y DEL SERVICIO MULTIPLEXOR....	50
2.1.3	SUBSISTEMAS DE ENTRADA DE DATOS Y AUDIO.....	51
2.1.3.1	Entrada de Audio.....	51
2.1.3.2	Entrada de Datos.....	51
	2.1.3.2.1 Datos del Servicio de Programa.....	52
	2.1.3.2.2 Datos del Servicio de Aplicación Avanzada.....	52
2.1.4	CARACTERÍSTICAS DEL SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN/RF PARA AM.....	52
2.1.4.1	Características de Transmisión.....	54
2.1.4.2	Interfaz de capa 1.....	55
2.1.4.3	Formas de onda y Espectro.....	55
	2.1.4.3.1 Forma de onda Híbrida.....	56
	2.1.4.3.2 Forma de onda Digital.....	58
2.1.4.4	Canal del control de sistema.....	59
2.1.4.5	Canales lógicos.....	61
	2.1.4.5.1 Transferencia.....	61
	2.1.4.5.2 Latencia.....	62
	2.1.4.5.3 Robustez.....	63
	2.1.4.5.4 Mapeo espectral.....	64
	2.1.4.5.5 Framing y sincronización.....	65
2.1.4.6	Scrambling (Mezclado).....	65
	2.1.4.6.1 Operación del mezclador.....	66
2.1.4.7	Canal de Codificación.....	67
	2.1.4.7.1 Codificación convolucional.....	68
2.1.4.8	Entrelazado.....	71

2.1.4.8.1	<i>Matrices de entrelazado</i> .....	73
2.1.4.9	Procesamiento del Control de Sistema.....	74
2.1.4.9.1	<i>Ensamblador de la secuencia de datos del control de sistema</i> .....	74
2.1.4.10	Mapeo de subportadora.....	77
2.1.4.10.1	<i>Procedimiento del mapeo de subportadora OFDM</i> .....	79
2.1.4.11	Generación de señal OFDM.....	79
2.1.4.11.1	<i>Funcionalidad</i> .....	80
2.1.4.12	Transmisión.....	81
2.1.4.12.1	<i>Concatenación de símbolo</i> .....	83
2.1.4.12.2	<i>Filtro pasa bajos</i> .....	83
2.1.4.12.3	<i>Retardo por diversidad</i> .....	83
2.1.4.12.4	<i>Modulador AM analógico</i> .....	84
2.1.4.12.5	<i>Combinador Analógico/Digital</i> .....	84
2.1.4.12.6	<i>Conversión ascendente de frecuencia</i> .....	84
2.1.5	<b>CARACTERÍSTICAS DEL TRANSPORTE Y SERVICIO MULTIPLEXOR</b> .....	85
2.1.5.1	Servicios Centrales.....	85
2.1.5.1.1	<i>Servicio de Programa Principal (MPS)</i> .....	85
2.1.5.1.2	<i>Servicio de Información de Estación (SIS)</i> .....	88
2.1.5.2	Servicio de Programa Suplementario (SPS).....	89
2.1.5.3	Servicios de Datos Avanzados.....	89
2.1.5.4	Canal Multiplexor.....	89
2.1.5.5	Generación de PDU de capa 2.....	90
2.1.5.5.1	<i>Transporte MPS/SPS</i> .....	90
2.1.5.5.2	<i>Flujo de Datos del Servicio de Programa (PSD)</i> .....	91
2.1.5.5.3	<i>Transporte SIS</i> .....	92
2.1.5.5.4	<i>Transporte de Aplicación Avanzada</i> .....	92
2.1.6	<b>CARACTERÍSTICAS DEL CODIFICADOR DE AUDIO</b> .....	93
2.1.6.1	HDC.....	93
2.1.6.1.1	<i>AACplus</i> .....	94
2.1.6.1.2	<i>SBR</i> .....	94
2.1.6.1.3	<i>Estéreo Paramétrico</i> .....	95

2.1.6.2	Tasa de codificación.....	95
2.1.7	PARÁMETROS DEL SISTEMA IBOC PARA AM.....	96
2.2	DRM (DIGITAL RADIO MONDIALE).....	97
2.2.1	ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA.....	97
2.2.2	CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	98
2.2.3	ARQUITECTURA DEL SISTEMA.....	98
2.2.4	MODOS DE TRANSMISIÓN.....	101
2.2.4.1	Parámetros relacionados con el ancho de banda de la señal.....	101
2.2.4.2	Parámetros relacionados con la eficiencia de transmisión.....	101
2.2.5	TASAS DE CÓDIGO Y CONSTELACIONES.....	102
2.2.6	CONJUNTO DE PARÁMETROS OFDM.....	102
2.2.7	CODIFICACIÓN DE FUENTE.....	105
2.2.7.1	Características de los diferentes tipos de codificación.....	106
2.2.7.1.1	<i>Codificación de audio MPEG AAC</i> .....	106
2.2.7.1.2	<i>Codificación MPEG CELP</i> .....	108
2.2.7.1.3	<i>Codificación MPEG HVXC</i> .....	108
2.2.7.1.4	<i>Codificación de Réplica de Banda Espectral (SBR)</i> .....	109
2.2.7.1.5	<i>Codificación Estéreo Paramétrico (PS)</i> .....	111
2.2.7.1.6	<i>Protección Desigual de Error (UEP)</i> .....	112
2.2.7.2	Supertramas de audio.....	113
2.2.7.2.1	<i>Supertramas de audio AAC</i> .....	113
2.2.7.2.2	<i>Supertrama de audio CELP</i> .....	115
2.2.7.2.3	<i>Supertrama de audio HVXC</i> .....	116
2.2.8	MULTIPLEX DRM.....	118
2.2.8.1	Canal de Servicio Principal (MSC).....	118
2.2.8.1.1	<i>Estructura</i> .....	119
2.2.8.1.2	<i>Reconfiguración</i> .....	120
2.2.8.2	Canal de Acceso Rápido (FAC).....	120
2.2.8.2.1	<i>Estructura</i> .....	120
2.2.8.2.2	<i>Parámetros del canal</i> .....	121
2.2.8.2.3	<i>Parámetros de servicio</i> .....	123
2.2.8.2.4	<i>CRC</i> .....	125
2.2.8.2.5	<i>Repetición FAC</i> .....	126

2.2.8.3	Canal de Descripción del Servicio (SDC).....	126
2.2.8.3.1	<i>Estructura</i> .....	127
2.2.8.3.2	<i>Cambiando el contenido del SDC</i> .....	130
2.2.8.3.3	<i>Señalización de reconfiguraciones</i> .....	131
2.2.8.3.4	<i>Aplicación de mensaje de texto</i> .....	132
2.2.8.3.5	<i>Modo paquete</i> .....	134
2.2.8.3.6	<i>Archivos</i> .....	136
2.2.9	CODIFICACIÓN DE CANAL Y MODULACIÓN.....	136
2.2.9.1	Adaptación al transporte múltiple.....	137
2.2.9.1.1	<i>Canal MSC</i> .....	137
2.2.9.1.2	<i>Canal FAC</i> .....	137
2.2.9.1.3	<i>Canal SDC</i> .....	138
2.2.9.2	Dispersión de energía.....	138
2.2.9.3	Codificación de canal.....	138
2.2.9.3.1	<i>Particionamiento de la información</i> .....	138
2.2.9.3.2	<i>Codificación Convolutiva</i> .....	139
2.2.9.3.3	<i>Entrelazado de bits</i> .....	140
2.2.9.3.4	<i>Constelaciones QAM y Mapeo</i> .....	140
2.2.9.4	Aplicación de la codificación a los canales.....	141
2.2.9.4.1	<i>Niveles de protección del MSC</i> .....	141
2.2.9.4.2	<i>Codificando el SDC</i> .....	142
2.2.9.4.3	<i>Codificando el FAC</i> .....	142
2.2.9.5	Entrelazado de celdas MSC.....	142
2.2.10	ESTRUCTURA DE LA TRANSMISIÓN.....	143
2.2.10.1	Celdas piloto.....	147
2.2.10.1.1	<i>Referencias de frecuencia</i> .....	147
2.2.10.1.2	<i>Referencias de tiempo</i> .....	148
2.2.10.1.3	<i>Referencia de ganancia</i> .....	148
2.2.10.2	Celdas de control.....	150
2.2.10.2.1	<i>Celdas FAC</i> .....	151
2.2.10.2.2	<i>Celdas SDC</i> .....	152
2.2.10.3	Celdas de datos.....	152

<b>CAPÍTULO 3:</b>	<b>ESTUDIO DE LA MIGRACIÓN DE LA RADIODIFUSIÓN ANALÓGICA A DIGITAL, BASADOS EN LOS SISTEMAS DRM Y IBOC.....</b>	<b>153</b>
3.1	INTRODUCCIÓN.....	153
3.2	REQUISITOS DE SERVICIO PARA LA RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL Y SU IMPORTANCIA RELATIVA.....	153
3.3	CONSIDERACIONES SOBRE EL PROCESO DE MIGRACIÓN ANALÓGICO A DIGITAL.....	155
3.3.1	SISTEMA IBOC.....	155
3.3.1.1	Estudio.....	156
3.3.1.1.1	<i>Consolas / Fuente de Audio.....</i>	156
3.3.1.1.2	<i>Cableado / Cronometraje.....</i>	157
3.3.1.1.3	<i>Retardo por diversidad.....</i>	159
3.3.1.1.4	<i>Procesamiento.....</i>	159
3.3.1.2	STL.....	161
3.3.1.2.1	<i>Descripción del proceso de transmisión de los PDUs de capa 2.....</i>	161
3.3.1.2.2	<i>Encapsulación de paquetes – Generación de PDUs.....</i>	162
3.3.1.3	Localización del transmisor.....	166
3.3.1.3.1	<i>Consideraciones de ubicación.....</i>	167
3.3.1.3.2	<i>Potencia AC y HVAC .....</i>	167
3.3.1.3.3	<i>Puesta a tierra / Protección.....</i>	168
3.3.1.3.4	<i>Transmisor.....</i>	169
3.3.1.3.5	<i>Funcionamiento de la señal analógica AM (modo híbrido).....</i>	170
3.3.1.3.6	<i>Límites de las emisiones espectrales AM.....</i>	170
3.3.1.3.7	<i>Niveles de las bandas laterales digitales.....</i>	174
3.3.1.4	Línea de transmisión y antena.....	175
3.3.1.5	Difusión de datos.....	176
3.3.1.6	Equipos de prueba.....	176
3.3.1.7	Determinando el método híbrido.....	178
3.3.1.8	Generación de la señal IBOC.....	179
3.3.1.9	Receptor IBOC.....	180

3.3.1.10	Arquitectura del sistema IBOC.....	184
3.3.1.11	Costos de conversión.....	189
3.3.2	SISTEMA DRM.....	191
3.3.2.1	Estudio.....	191
3.3.2.1.1	<i>Consolas / Fuente de Audio</i> .....	192
3.3.2.1.2	<i>Cableado / Cronometraje</i> .....	192
3.3.2.1.3	<i>Retardo por diversidad</i> .....	193
3.3.2.1.4	<i>Procesamiento</i> .....	195
3.3.2.2	STL.....	195
3.3.2.2.1	<i>Arquitectura del protocolo</i> .....	198
3.3.2.3	Localización del transmisor.....	203
3.3.2.3.1	<i>Consideraciones de la ubicación</i> .....	203
3.3.2.3.2	<i>Puesta a tierra / Protección</i> .....	203
3.3.2.3.3	<i>Transmisor</i> .....	204
3.3.2.3.4	<i>Funcionamiento de la señal análoga (SIMULCAST)</i> .....	204
3.3.2.4	Línea de transmisión y antenas.....	206
3.3.2.4.1	<i>Antenas HF</i> .....	207
3.3.2.4.2	<i>Antenas MF</i> .....	207
3.3.2.5	Difusión de datos.....	207
3.3.2.6	Equipos de prueba.....	208
3.3.2.7	Receptor DRM.....	208
3.3.2.8	Arquitectura del sistema DRM.....	212
3.3.2.9	Costos de conversión.....	217
3.4	ASPECTOS CRÍTICOS DE LA MIGRACIÓN ANALÓGICA A DIGITAL DE UNA ESTACIÓN DE RADIODIFUSIÓN SONORA.....	219
3.4.1	LINEALIZACIÓN DEL AMPLIFICADOR DE POTENCIA.....	220
3.4.1.1	Eliminación y Restauración de Envoltente (EER).....	225
3.4.1.2	Predistorsión.....	226
3.4.2	ANTENAS PARA RADIODIFUSIÓN DIGITAL.....	229
3.4.2.1	Introducción.....	229
3.4.2.2	Antenas para la banda HF (Onda corta).....	230
3.4.2.3	Antenas para la banda MF (Onda media, AM convencional).....	230
3.4.3	STL.....	233

3.5	COMPARACIÓN DE LOS ESTÁNDARES ANALIZADOS.....	235
3.6	RECONOCIMIENTO DE UN SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL BASADO EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DRM EN LAS INSTALACIONES DE HCJB – PIFO.....	238
<b>CAPÍTULO 4:</b>	<b>IMPLICACIONES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL ESTÁNDAR SELECCIONADO SOBRE EL MARCO REGULATORIO DE LA RADIODIFUSIÓN DIGITAL POR DEBAJO DE LOS 30 MHZ.....</b>	<b>246</b>
4.1	SITUACIÓN DE LA RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL EN LATINOAMÉRICA.....	246
4.2	SUGERENCIAS SOBRE EL MARCO LEGAL QUE REGULA LA RADIODIFUSIÓN SONORA EN EL PAÍS.....	249
<b>CAPÍTULO 5:</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>253</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>258</b>
	<b>ANEXO 1.....</b>	<b>264</b>
1.1	GENERACIÓN DE SUBTRAMA.....	264
1.2	MATRICES DE ENTRELAZADO.....	265
1.3	MAPEO DE BIT.....	266
	<b>ANEXO 2: PROCEDIMIENTO DEL MAPEO DE SUBPORTADORA OFDM.....</b>	<b>268</b>
	<b>ANEXO 3: MODULACIÓN JERÁRQUICA.....</b>	<b>274</b>
	<b>ANEXO 4: MATRICES DE PERFORACIÓN.....</b>	<b>275</b>
	<b>ANEXO 5: ENTRELAZADO DE BITS.....</b>	<b>278</b>
	<b>ANEXO 6: CONSTELACIONES QAM.....</b>	<b>279</b>
	<b>ANEXO 7: NIVELES DE PROTECCIÓN DE LOS MAPEOS JERÁRQUICOS.....</b>	<b>282</b>
	<b>ANEXO 8: ENTRELAZADO DE CELDAS.....</b>	<b>283</b>
	<b>ANEXO 9.....</b>	<b>284</b>
9.1	LEY DE RADIODIFUSIÓN Y TELEVISIÓN.....	284
9.2	REGLAMENTO GENERAL A LA LEY DE RADIODIFUSIÓN Y TELEVISIÓN.....	293

9.3	ACTUALIZACIÓN DE LOS VALORES DE TARIFAS POR CONCESIÓN Y UTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS, CANALES Y OTROS SERVICIOS DE RADIODIFUSIÓN Y TELEVISIÓN.....	303
9.4	LEY ESPECIAL DE TELECOMUNICACIONES.....	304
9.5	REGLAMENTO GENERAL A LA LEY ESPECIAL DE TELECOMUNICACIONES REFORMADA.....	305
9.6	ACUERDO REGIONAL DE RÍO DE JANEIRO DE 1981 SOBRE EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN POR ONDAS HECTOMÉTRICAS EN LA REGIÓN 2.....	306
9.7	PLAN NACIONAL DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS PARA RADIODIFUSIÓN Y TELEVISIÓN, PARA LA ATRIBUCIÓN DE BANDAS DE FRECUENCIAS Y LOS DISTINTOS SERVICIOS COMO SU USO Y CONTROL.....	312

## PRESENTACIÓN

La radiodifusión AM desarrollada a inicios del siglo XX, ha crecido rápidamente desde aquel entonces, por lo que hasta el día de hoy existen 2 billones de dispositivos capaces de recibir señales en una o más de estas bandas.

Estas bandas ofrecen la capacidad de conseguir:

- Amplias áreas de cobertura, cuyas dimensiones y ubicaciones dependen de la hora del día, de las estaciones del año y de los ciclos solares.
- Recepción portátil y móvil con un impacto relativamente bajo del ambiente circundante al receptor.

Por tanto existe un deseo de continuar transmitiendo en estas bandas, especialmente en el caso de las transmisiones internacionales, donde las bandas de HF ofrecen la capacidad de transmitir señales sin la necesidad de involucrar estaciones repetidoras.

Sin embargo los servicios de radiodifusión en estas bandas:

- Usan técnicas analógicas.
- Son señales de calidad limitada.
- Son susceptibles a la interferencia y al desvanecimiento.

Como resultado de estas consideraciones se necesita llevar a cabo una migración a técnicas de transmisión y recepción digital, para lograr un incremento en la calidad y confiabilidad de la señal transmitida, factores necesarios para retener a los oyentes.

A fin de cumplir la necesidad de incluir un sistema de radiodifusión digital en las bandas por debajo de los 30 MHz, los estándares IBOC (In Band On Channel) y DRM (Digital Radio Mondiale) fueron desarrollados a inicios de 1998. De esta manera el presente trabajo trata de encontrar las razones que impulsarían la radiodifusión AM hacia el futuro digital, discute los factores que motivarían a los radiodifusores a iniciar transmisiones digitales, señala qué tipo de sistema digital sería el apropiado para implementar en nuestro país y cuál es la situación actual de las emisiones experimentales en el Ecuador, analizando las características técnicas de cada uno de los estándares propuestos.

## **RESUMEN**

El presente proyecto de titulación tiene como objeto analizar los estándares de radiodifusión digital IBOC y DRM, a fin de definir los criterios necesarios que permitan la implementación de un sistema de radiodifusión digital por debajo de los 30 MHz. Por esta razón nuestro estudio se ha dividido en cinco capítulos, cuyo contenido se detalla a continuación:

En el capítulo 1 se abarca una descripción de la tecnología analógica actual utilizada en la radiodifusión sonora por debajo de los 30 MHz, donde se incluye las características técnicas de estos sistemas de transmisión, basados en la situación de nuestro país.

El capítulo 2 presenta la descripción técnica de los estándares de radiodifusión digital IBOC y DRM, mostrando en detalle el procesamiento digital de la señal de información, con el objeto de conocer cómo están estructurados estos sistemas.

En el capítulo 3 se expone criterios para realizar una posible migración desde la tecnología analógica actual hacia una tecnología digital, determinando los aspectos críticos dentro de la cadena de transmisión, para finalmente realizar una comparación entre las dos corrientes propuestas, llegando de esta manera a establecer cuál sería el estándar más adecuado. Al final de éste capítulo se mostrará una arquitectura experimental de radiodifusión digital implementada por HCJB en sus instalaciones de Pifo.

El capítulo 4 contempla la tendencia de los sistemas de radiodifusión digital en el mundo y principalmente en Latinoamérica. A continuación se sugerirá posibles criterios a tomarse en cuenta en el actual marco legal de nuestro país.

Finalmente, el capítulo 5 contiene las conclusiones y recomendaciones que han surgido tras el desarrollo del presente trabajo de investigación, procurando que las mismas incentiven estudios posteriores que permitan la revitalización de las bandas AM utilizando tecnología digital.

# CAPÍTULO 1: SITUACIÓN ACTUAL DE LA RADIODIFUSIÓN ANALÓGICA POR DEBAJO DE LOS 30 MHZ

---

## 1. 1 SISTEMA DE COMUNICACIÓN

Las señales de información deben ser transportadas entre un transmisor y un receptor sobre algún medio de transmisión. Sin embargo, las señales de información pocas veces encuentran una forma adecuada para la transmisión, debido a que en el medio pueden existir diversas perturbaciones que afecten a la propagación de la señal, por ejemplo interferencia, distorsión, atenuación y ruido. Supongamos que disponemos de cierta información, analógica o digital, que deseamos enviar por un canal de transmisión, este último designa al soporte (físico o no) que se utilizará para transportar la información desde la fuente hacia el destinatario.

La figura 1.1 resume el enunciado del problema que se acaba de plantear y presenta un esquema básico de un sistema de comunicación, donde la información procedente de la fuente puede ser analógica o digital; por ejemplo, puede tratarse de una señal analógica de audio o video, o estas mismas señales digitalizadas.

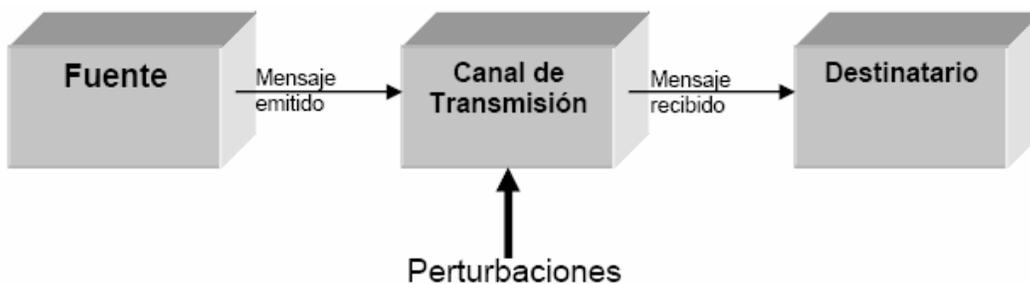


Figura 1.1: Esquema básico de un sistema de comunicación

Para lograr la propagación de señales de información de baja frecuencia en un medio de transmisión (guiado o no guiado), se utiliza un proceso conocido como modulación, que se define como el proceso de transformar información de su

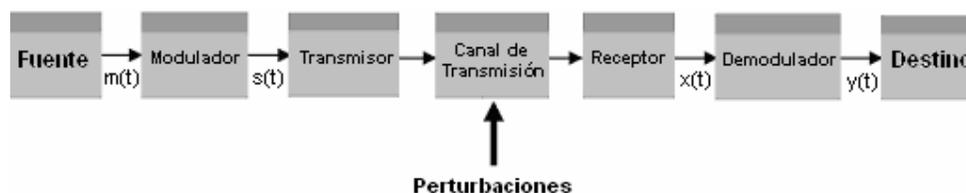
forma original a una forma más adecuada para la transmisión, mediante la utilización de una señal portadora de mayor frecuencia.

Entre las ventajas que ofrece la modulación tenemos:

1. Facilita la radiación al utilizar una señal portadora, permitiendo la construcción de antenas de dimensión razonable.
2. Permite hacer una asignación de frecuencias sin interferencia mutua.
3. Permite disminuir la distorsión, interferencia y ruido.
4. Facilita el multiplexaje de señales (multicanalización), es decir, por un mismo canal se puede transmitir varias señales sin interferencia.

La demodulación es el proceso inverso, es decir, la onda modulada se convierte nuevamente a su forma original (banda base), mediante la utilización de circuitos electrónicos que permitan la captación de la señal con el fin de recuperar la información.

En la figura 1.2 se introducen cuatro operaciones suplementarias con respecto a la figura anterior, entre la fuente y el canal, modulador y transmisor; y entre el canal y el destinatario, receptor y demodulador.



**Figura 1.2: Proceso de modulación y demodulación en un sistema de comunicación**

## 1.2 MODULACION EN AMPLITUD (AM)

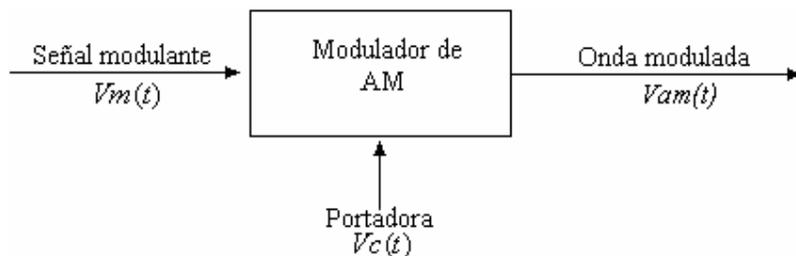
La modulación de amplitud es un proceso mediante el cual se varía la amplitud de una señal portadora de frecuencia relativamente alta, en proporción con el valor instantáneo de la señal modulante o moduladora (información). Con la modulación de amplitud, la portadora contiene la información en la forma de cambios de

amplitud. Esta forma de modulación es relativamente barata y se la utiliza en la radiodifusión de señales de audio y video.

La banda de radiodifusión comercial en onda media abarca desde 525 kHz a 1605 kHz en la región 2, la cual incluye al Ecuador. La modulación en amplitud también se utiliza para las comunicaciones de radio móvil de dos sentidos, y para radiocomunicaciones nacionales e internacionales en onda corta<sup>1</sup>.

Un modulador de amplitud es un circuito no lineal con dos señales de entrada: a) una señal portadora de amplitud constante y de frecuencia única y b) la señal de información. La señal de información modula la portadora y puede ser una forma de onda de frecuencia simple o compleja compuesta de muchas frecuencias que son originadas por una o más fuentes.

En la figura 1.3 se describe el proceso de modulación en amplitud.



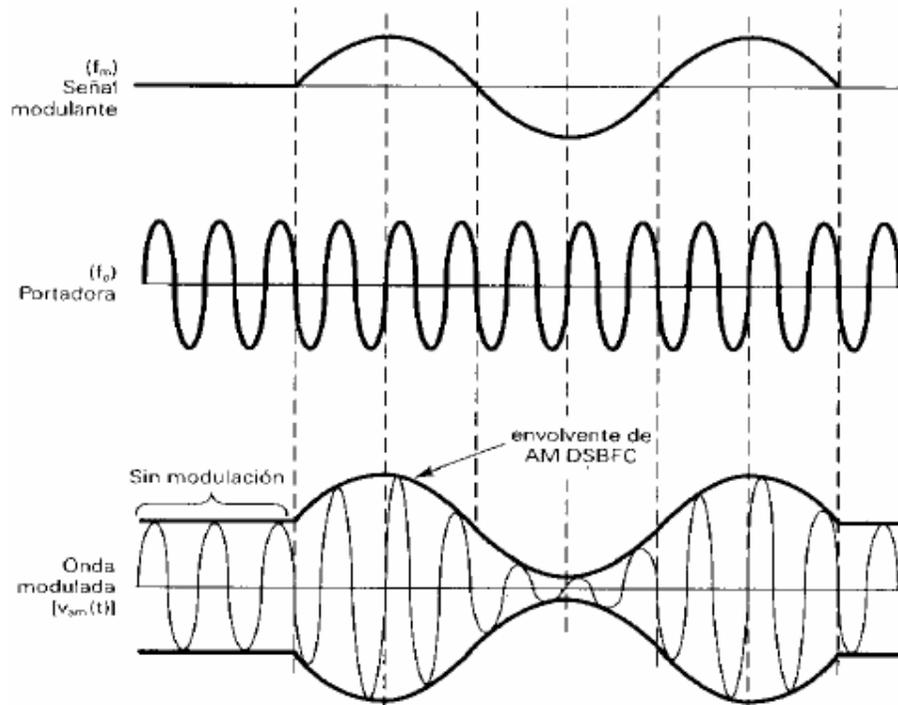
**Figura 1.3: Modulación en amplitud**

## 1.2.1 TIPOS DE MODULACION EN AMPLITUD

### 1.2.1.1 Modulación en amplitud con doble banda lateral con presencia de portadora

Este sistema se conoce también como AM convencional o simplemente AM. En la figura 1.4 se describen las señales que intervienen en el proceso de modulación en amplitud con Doble Banda Lateral y Presencia de Portadora (DSB-FC, por sus siglas en inglés).

<sup>1</sup> Referirse al Anexo 9.7 para mayor detalle acerca de la distribución de frecuencias en estas bandas.



**Figura 1.4: Señales que intervienen en el proceso de modulación en amplitud**

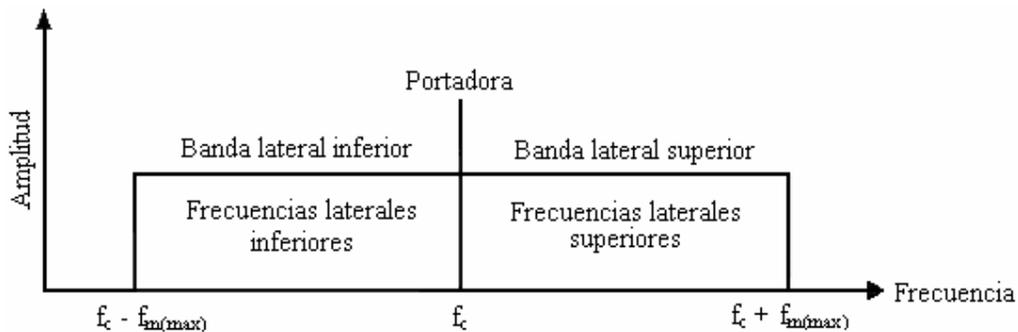
Cabe destacar que la amplitud de onda modulada varía en función de la señal modulante, la forma continua que adoptan los picos sucesivos de amplitud se conoce como envolvente AM. Obsérvese que la forma de la envolvente de AM es idéntica a la forma de la señal modulante. Además, el tiempo de un ciclo de la envolvente es el mismo que el periodo de la señal modulante. Consecuentemente, la relación de repetición de la envolvente es igual a la frecuencia de la señal modulante.

#### ***1.2.1.1.1 Espectro de frecuencia y ancho de banda***

Como un modulador de AM es un dispositivo no lineal, la onda modulada contendrá una componente continua de voltaje y además los productos cruzados que surgen de la mezcla de la portadora con los tonos de la señal modulante ( $f_c \pm f_m$ ). La suma y la diferencia de frecuencias son desplazadas de la frecuencia portadora por una cantidad igual a la frecuencia de la señal modulante. Por lo tanto, una envolvente de AM contiene componentes en frecuencia espaciados por  $f_m$  [Hz] en cualquiera de los lados de la portadora. El efecto de la modulación es

trasladar la señal modulante en el dominio de la frecuencia para reflejarse simétricamente alrededor de la portadora.

La figura 1.5 muestra el espectro de frecuencia para una señal AM. El espectro de AM abarca desde  $(f_c - f_{m(max)})$  a  $(f_c + f_{m(max)})$ , en donde  $f_c$  es la frecuencia de portadora y  $f_{m(max)}$  es la frecuencia de la señal modulante más alta. La banda de frecuencias entre  $f_c - f_{m(max)}$  a  $f_c$  se llama banda lateral inferior. La banda de frecuencias entre  $f_c$  a  $f_c + f_{m(max)}$  se llama banda lateral superior. Por lo tanto, el ancho de banda ( $BW$ ) de una onda AM DSB-FC es igual a la diferencia entre la frecuencia lateral superior más alta y la frecuencia lateral inferior más baja, es decir, dos veces la frecuencia de la señal modulante más alta ( $BW = 2f_{m(max)}$ ).



**Figura 1.5: Espectro de frecuencia de una señal modulada en amplitud**

#### ***1.2.1.1.2 Coeficiente de modulación y porcentaje de modulación***

Este parámetro define a la cantidad de cambio de amplitud presente en una forma de una onda de AM, también puede ser expresado en porcentaje y en este caso se llama porcentaje de modulación, el cual representa el cambio porcentual en la amplitud de la portadora cuando sobre ella actúa la señal modulante. Estos parámetros se definen de la siguiente manera:

$$m = \frac{E_m}{E_c} \quad (1.1)$$

$$M = \frac{E_m}{E_c} \times 100\% \quad (1.2)$$

Donde,

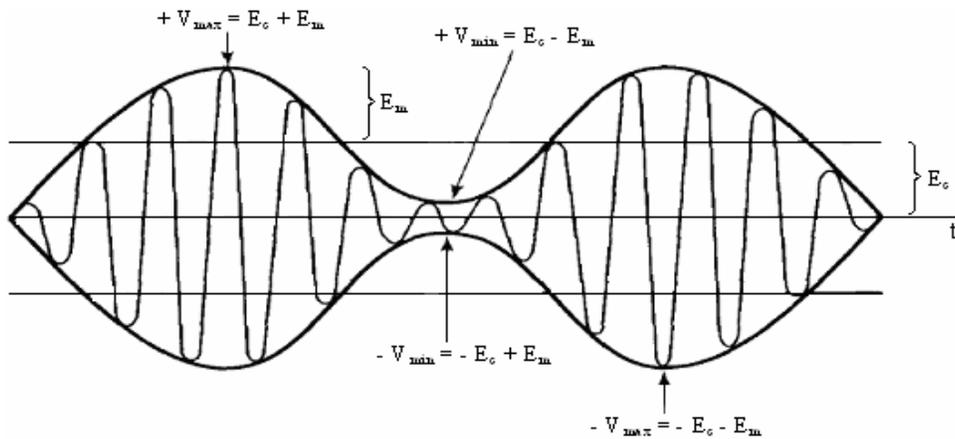
$m$  = coeficiente de modulación (adimensional)

$E_m$  = cambio pico en la amplitud del voltaje de la forma de onda de salida

$E_c$  = amplitud pico del voltaje de la portadora no modulada (volts)

$M$  = porcentaje de modulación

Las relaciones entre  $m$ ,  $E_m$  y  $E_c$  se muestran en la figura 1.6.

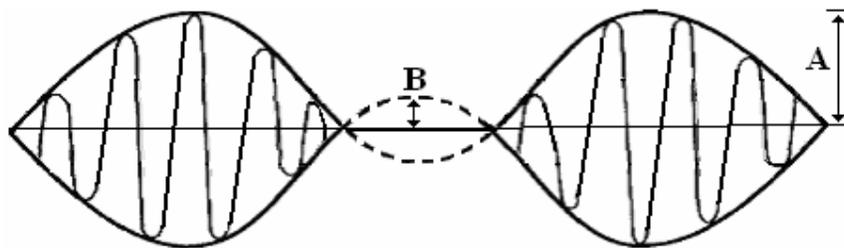


**Figura 1.6: Coeficiente de modulación,  $E_m$  y  $E_c$**

Cuando el índice de modulación es mayor que la unidad (100%), se tiene sobremodulación, lo cual deforma la señal y se distorsiona la información. La expresión para calcular el coeficiente de modulación para una señal sobremodulada es la siguiente:

$$m = 1 + \frac{B}{A} \quad (1.3)$$

En la figura 1.7 se representan los coeficientes  $A$  y  $B$  para el cálculo del coeficiente de modulación.



**Figura 1.7: Onda sobremodulada**

### 1.2.1.1.3 Variación instantánea de una señal AM DSB-FC

Una portadora no modulada puede describirse matemáticamente como:

$$V_c(t) = E_c \cdot \text{sen}(2\pi f_c t) \quad (1.4)$$

Donde,

$V_c(t)$  = forma de onda de voltaje para la portadora

$E_c$  = amplitud pico de la portadora (volts)

$f_c$  = frecuencia de la portadora (hertz)

De acuerdo a la figura 1.6, la amplitud instantánea de la onda modulada puede expresarse como:

$$V_{am}(t) = [E_c + E_m \cdot \text{sen}(2\pi f_m t)] \text{sen}(2\pi f_c t) \quad (1.5)$$

Donde,

$E_c + E_m \cdot \text{sen}(2\pi f_m t)$  = amplitud instantánea de la onda modulada

Si se sustituye  $E_m$  por  $mE_c$

$$V_{am}(t) = [E_c + mE_c \cdot \text{sen}(2\pi f_m t)] \text{sen}(2\pi f_c t) \quad (1.6)$$

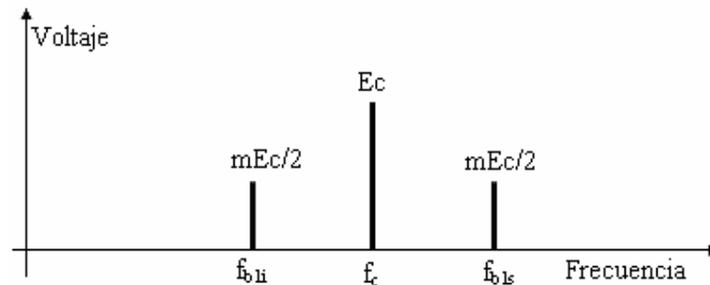
Factorizando  $E_c$  de la ecuación 1.6 y arreglando resulta en:

$$V_{am}(t) = [1 + m \cdot \text{sen}(2\pi f_m t)] E_c \cdot \text{sen}(2\pi f_c t) \quad (1.7)$$

En la expresión 1.7 se nota que la señal moduladora contiene una componente constante  $E_c$  y una componente sinusoidal en la frecuencia de la señal moduladora  $m \cdot \text{sen}(2\pi f_m t)$ . Si se realiza el producto de la ecuación 1.7, tenemos:

$$V_{am}(t) = \underbrace{E_c \cdot \text{sen}(2\pi f_c t)}_{\text{portadora}} + \underbrace{\frac{mE_c}{2} \cos[2\pi(f_c + f_m)t] + \frac{mE_c}{2} \cos[2\pi(f_c - f_m)t]}_{\text{bandas laterales}} \quad (1.8)$$

En esta expresión vemos claramente la generación de los productos cruzados, que en última instancia definen los límites de las bandas laterales y la componente constante. Además se observa un coeficiente  $\frac{mE_c}{2}$  que define la amplitud de voltaje en la onda modulada que es dependiente del coeficiente de modulación, lo anterior se evidencia en la figura 1.8.



**Figura 1.8: Espectro de amplitud de voltaje para una onda AM DSB-FC**

#### ***1.2.1.1.4 Distribución de potencia***

En cualquier circuito eléctrico, la potencia disipada es igual al voltaje rms al cuadrado, dividido por la resistencia (es decir,  $P = E^2/R$ ), así el promedio de la potencia disipada en una carga por una portadora no modulada, es igual al cuadrado del voltaje rms de la portadora dividido por la resistencia de carga. Matemáticamente, para una onda sinusoidal la potencia de la portadora no modulada se expresa como:

$$P_c = \frac{(0.707 \cdot E_c)^2}{R}$$

$$P_c = \frac{E_c^2}{2R} \quad (1.9)$$

Donde,

$P_c$  = potencia de la portadora sin modular (watts)

$E_c$  = voltaje pico de la portadora (volts)

$R$  = resistencia de carga (ohms)

Las potencias de las bandas laterales superiores e inferiores se expresan matemáticamente como:

$$P_{bl} = \frac{\left(\frac{mE_c}{2\sqrt{2}}\right)^2}{R}$$

$$P_{bl} = \frac{m^2 E_c^2}{8R} \quad (1.10)$$

$$P_{bl} = \frac{m^2}{4} P_c \quad (1.11)$$

Donde,

$P_{bl}$  = potencia en una banda lateral (watts)

La potencia total en una onda de amplitud modulada es igual a la suma de las potencias de la portadora, la banda lateral superior y la banda lateral inferior. La potencia total en una señal AM DSB-FC es igual:

$$P_t = P_c + 2P_{bl} \quad (1.12)$$

Donde,

$P_t$  = potencia total de la señal de AM DSB-FC (watts)

$P_c$  = potencia de la portadora (watts)

$P_{bl}$  = potencia en una banda lateral (watts)

Sustituyendo los valores de potencia en la ecuación anterior, tenemos:

$$P_t = P_c + 2 \cdot \frac{m^2}{4} P_c$$

$$P_t = P_c + \frac{m^2}{2} P_c$$

$$P_t = P_c \left(1 + \frac{m^2}{2}\right) \quad (1.13)$$

Del análisis precedente, puede observarse que la potencia de la portadora en la onda modulada es igual a la potencia de la portadora en la onda no modulada. Por lo tanto, es evidente que la potencia de la portadora no es afectada por el proceso de modulación. Además, debido a que la potencia total en la onda AM es la suma de las potencias de la portadora y de la banda lateral, la potencia total en una envolvente de AM se incrementa con la modulación (es decir, conforme  $m$  incrementa  $P_t$  se incrementa).

Las expresiones antes descritas definen la modulación para el caso en el que la señal modulante presenta un solo tono en el espectro de frecuencias, cuando se presentan señales compuestas por múltiples tonos las expresiones para el cálculo de potencia serían las siguientes:

$$mt = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + \dots + m_n^2} \quad (1.14)$$

$$P_t = P_c \left( 1 + \frac{mt^2}{2} \right) \quad (1.15)$$

Donde,

$mt$  = coeficiente total de modulación

$m_1, m_2, m_3$  y  $m_n$  = coeficientes de modulación para cada una de las señales de entrada

$P_t$  = potencia total de la onda modulada

### **Desventajas:**

- El ancho de banda es el doble que el de la banda base, lo cual es innecesario porque para la recuperación de la información bastaría con la obtención de una sola banda lateral.
- En las bandas laterales se tiene la menor distribución de potencia, y la portadora es la que contribuye con la mayor cantidad de la misma, lo que resulta un problema ya que la información se concentra en las bandas laterales.

### 1.2.1.2 Modulación en amplitud con doble banda lateral sin presencia de portadora

Este tipo de modulación se conoce también como modulación DSB-SC (por sus siglas en inglés), se deriva de la modulación con doble banda lateral y presencia de portadora, con el fin de eliminar la portadora se agrega un filtro pasabanda luego del proceso de modulación.

$$V_{am}(t) = \underbrace{E_c \cdot \text{sen}(2\pi f_c t)}_{\text{portadora}} - \underbrace{\frac{mE_c}{2} \cos[2\pi(f_c + f_m)t] + \frac{mE_c}{2} \cos[2\pi(f_c - f_m)t]}_{\text{bandas laterales}} \quad (1.8)$$

De la ecuación 1.8, agregando el filtro pasabanda luego de la modulación solamente obtendríamos las componentes de las bandas laterales, optimizando al sistema en potencia.

#### 1.2.1.2.1 Espectro de frecuencia y ancho de banda

En la figura 1.9 tenemos el espectro de frecuencia que se obtiene al filtrar la portadora, como podemos observar solo se encuentran presentes las frecuencias de las bandas laterales centradas al valor de la portadora, al igual que en el caso de modulación de amplitud con doble banda lateral y portadora, el ancho de banda se obtiene de la diferencia entre la frecuencia máxima de la banda lateral superior y la frecuencia mínima de la banda lateral inferior, es decir, dos veces la frecuencia máxima de la señal modulante  $BW = 2f_{m(max)}$ .

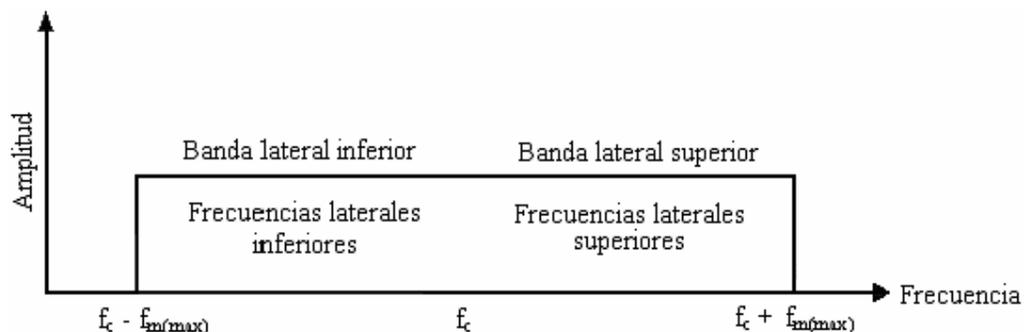


Figura 1.9: Espectro de frecuencia de una onda AM DSB-SC

### 1.2.1.2.2 Coeficiente de modulación y porcentaje de modulación

El coeficiente de modulación para una onda modulada DSB-SC es igual a 2,  $m = 2$ , aparentemente se trata de una onda DSB-FC sobremodulada, en donde la expresión para calcular el mismo es:

$$m = 1 + \frac{B}{A}$$

$$M = m \times 100\%$$

Donde,

$m$  = coeficiente de modulación (adimensional)

$M$  = porcentaje de modulación

En la figura 1.10 se presenta una señal modulada DSB-SC, en donde se observa la aparente sobremodulación de la misma.

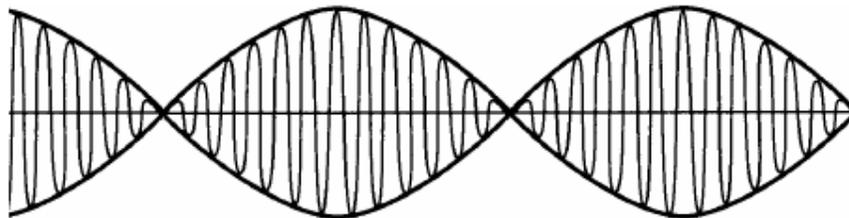


Figura 1.10: Modulación DSB-SC

### 1.2.1.2.3 Variación instantánea de una señal AM DSB-SC

$$V_{am}(t) = -\frac{mE_c}{2} \cos[2\pi(f_c + f_m)t] + \frac{mE_c}{2} \cos[2\pi(f_c - f_m)t] \quad (1.16)$$

De la ecuación 1.16, observamos que luego de pasar la señal modulada por un filtro pasabanda, los productos cruzados se mantienen, como también los coeficientes  $\frac{mE_c}{2}$  que corresponden a la amplitud del voltaje en la onda modulada.

#### 1.2.1.2.4 Distribución de potencia

En este punto es donde presenta la mayor ventaja a diferencia de la modulación DSB-FC, ya que se presenta un ahorro de potencia, debido a que no hay contribución de la potencia de la portadora, solamente se tiene la contribución de potencia de las bandas laterales. Las expresiones que definen los valores de potencia para este tipo de modulación son las siguientes:

$$P_{bl} = \frac{\left(\frac{mE_c}{2\sqrt{2}}\right)^2}{R}$$

$$P_{bl} = \frac{m^2 E_c^2}{8R}$$

$$P_t = 2P_{bl} \quad (1.17)$$

$$P_t = \frac{m^2 E_c^2}{4R} \quad (1.18)$$

Donde,

$P_{bl}$  = potencia en una banda lateral (watts)

$P_t$  = potencia total de la envolvente de AM DSB-SC (watts)

#### Desventajas:

- El ancho de banda sigue siendo el doble que el de la banda base, lo cual es innecesario para la recuperación de la información.
- El receptor para este tipo de modulación es más complejo que en la modulación DSB-FC.

#### 1.2.1.3 Modulación en amplitud de banda lateral única con presencia de portadora

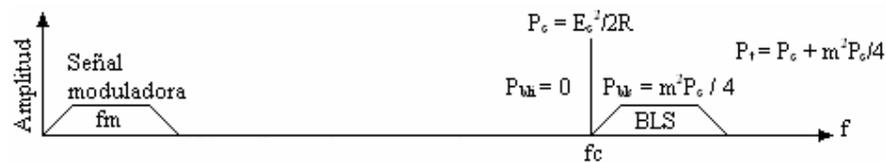
Este tipo de modulación se conoce también como modulación SSB-FC (por sus siglas en inglés), se desprende de la modulación en AM convencional, en donde la portadora se transmite con potencia máxima, pero sólo se transmite una de las

bandas laterales, la banda lateral a transmitirse puede ser tanto la banda lateral superior como la inferior indistintamente.

No hay ninguna alteración del número o relación de los componentes de la señal, salvo un cambio en la escala de frecuencias y la inversión de la relación de frecuencia, si la banda lateral inferior es seleccionada.

### 1.2.1.3.1 Espectro de frecuencia y ancho de banda

La figura 1.11 muestra el diagrama espectral para una transmisión SSB-FC.



**Figura 1.11: Espectro de frecuencias en banda lateral única con presencia de portadora**

Como podemos observar para efectos de transmisión se envía la componente correspondiente a la portadora y sólo una banda lateral, lo que provoca una disminución en los requerimientos de la potencia de transmisión.

Otro efecto inmediato de la modulación en amplitud con banda lateral única es la disminución del ancho de banda requerido, como observamos anteriormente el ancho de banda requerido para AM convencional al transmitir dos bandas laterales redundantes era igual al doble de la frecuencia máxima de la señal modulante, al restringir el envío de una banda lateral tenemos que  $BW = f_{m(max)}$ .

### 1.2.1.3.2 Variación instantánea de una señal AM SSB-FC

Para este tipo de modulación de amplitud, si partimos de la ecuación 1.8, y conservamos tan sólo una de las bandas laterales tendríamos lo siguiente:

$$V_{am}(t) = \underbrace{E_c \cdot \text{sen}(2\pi f_c t)}_{\text{portadora}} - \underbrace{\frac{mE_c}{2} \cos[2\pi(f_c + f_m)t]}_{\text{banda lateral}} \quad (1.19)$$

Como vemos la relación  $\frac{mE_c}{2}$  se mantiene, al igual que en los otros tipos de modulación en amplitud descritos, el voltaje depende directamente de la amplitud de la portadora así como también del índice o coeficiente de modulación.

### ***1.2.1.3.3 Distribución de potencia***

Como se mencionó anteriormente al eliminar una sola banda lateral se reducen también los requerimientos de potencia. Para este caso tenemos que tan solo dos componentes de frecuencia contribuyen a la potencia total.

La frecuencia de portadora, contribuye a la potencia total mediante la expresión:

$$P_c = \frac{E_c^2}{2R}$$

Y la única banda lateral transmitida contribuye a la potencia total mediante:

$$P_{bl} = \frac{m^2 E_c^2}{8R}$$

$$P_{bl} = \frac{m^2 P_c}{4}$$

Por lo que la potencia total transmitida queda definida de la siguiente manera:

$$P_t = P_c + P_{bl}$$

$$P_t = P_c + \frac{m^2 P_c}{4}$$

$$P_t = P_c \left( 1 + \frac{m^2}{4} \right) \quad (1.20)$$

Cabe recalcar que para un índice de modulación de  $m = 1$ , la potencia de la portadora ( $P_c$ ) constituye las cuatro quintas partes (80%) de la potencia total transmitida y sólo la quinta parte (20%) de la potencia total se encuentra en la banda lateral. Bajo las mismas condiciones ( $m = 1$ ) en AM convencional, dos

terceras partes de la potencia total transmitida está en la portadora (67%) y un tercio (33%) está en las bandas laterales, por lo anterior se concluye que aunque en el sistema SSB-FC se requiera menos potencia, menos porcentaje de la misma es destinado a la transmisión de información.

#### 1.2.1.4 Modulación en amplitud de banda lateral única sin presencia de portadora

La modulación en amplitud de Banda Lateral Única y Portadora Suprimida (SSB-SC, por sus siglas en inglés), es una forma de modulación de amplitud en la que la portadora se suprime en su totalidad y se suprime una de las bandas laterales. Por consiguiente, en el SSB-SC se requiere la mitad del ancho de banda que en el AM convencional, así como también menos potencia de transmisión.

##### 1.2.1.4.1 Espectro de frecuencia y ancho de banda

El espectro de frecuencias para éste tipo de modulación se observa en la siguiente figura:



Figura 1.12: Espectro de frecuencias en banda lateral única y portadora suprimida

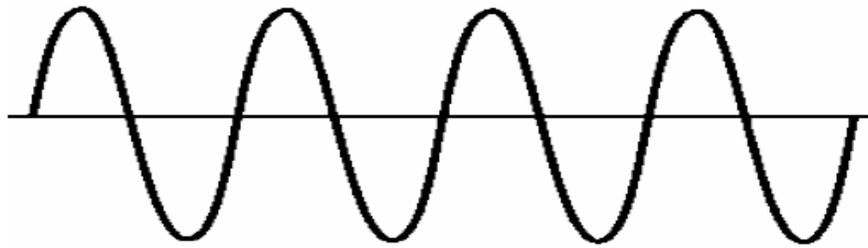
Como vemos para este caso el ancho de banda requerido es  $BW = f_{m(max)}$ , donde  $f_{m(max)}$  es la máxima frecuencia presente en la señal modulante, otro dato importante es la presencia de una sola componente de frecuencia en el espectro, hecho que tiene repercusión directa en la distribución de potencia.

##### 1.2.1.4.2 Variación instantánea de una señal AM SSB-SC

Si hacemos referencia a la ecuación 1.8, y eliminamos de ésta expresión tanto a la portadora como a una de las bandas laterales, tendríamos una expresión que define en el dominio del tiempo al sistema de modulación SSB-SC:

$$V_{am}(t) = -\underbrace{\frac{mE_c}{2} \cos[2\pi(f_c + f_m)t]}_{\text{banda lateral \u00fanica}} \quad (1.21)$$

Como vemos en la ecuaci\u00f3n solo queda una sola componente de frecuencia, cuya amplitud tambi\u00e9n se basa en la relaci\u00f3n  $\frac{mE_c}{2}$ , se\u00f1alada a lo largo de \u00e9ste cap\u00edtulo. Su representaci\u00f3n en el dominio del tiempo ser\u00eda la siguiente:



**Figura 1.13: Se\u00f1al modulada SSB-SC**

#### ***1.2.1.4.3 Distribuci\u00f3n de potencia***

Al no existir otra componente de frecuencia m\u00e1s que la de una sola banda lateral, tenemos que el 100% de la potencia de transmisi\u00f3n es destinada a la informaci\u00f3n. Es decir la potencia total de transmisi\u00f3n queda definida mediante la expresi\u00f3n:

$$P_{bl} = \frac{m^2 E_c^2}{8R} \quad (1.22)$$

#### **Ventajas de la transmisi\u00f3n en banda lateral \u00fanica**

1. Conservaci\u00f3n del ancho de banda. La transmisi\u00f3n en banda lateral \u00fanica requiere la mitad del ancho de banda utilizado en la transmisi\u00f3n de la AM convencional. Esta ventaja es especialmente importante, hoy en d\u00eda, con un espectro de frecuencias saturado.

2. Conservaci\u00f3n de potencia. Al transmitir s\u00f3lo una banda lateral con una portadora suprimida o reducida, se necesita menos potencia total de transmisi\u00f3n para producir esencialmente la misma cantidad de se\u00f1al que se logra con la transmisi\u00f3n de doble banda lateral con portadora completa.

3. Desvanecimiento selectivo. Con la transmisión en doble banda lateral, las dos bandas laterales y la portadora pueden propagarse a través del medio de transmisión por diferentes trayectorias y, por lo tanto, pueden experimentar diferentes deterioros en la transmisión. Esta condición se llama desvanecimiento selectivo. Un tipo de desvanecimiento selectivo es el desvanecimiento de la banda lateral, en donde una banda lateral se atenúa significativamente. Esta pérdida resulta en una amplitud reducida de la señal a la salida del demodulador del receptor y consecuentemente una disminución de la relación señal a ruido. Esta pérdida causa algo de distorsión, pero no es totalmente perjudicial para la señal, ya que las dos bandas laterales contienen la misma información.

La forma más común y más grave de desvanecimiento selectivo es el desvanecimiento de la amplitud de la portadora. La reducción del nivel de la portadora de una onda 100% modulada, hará que el voltaje de la portadora sea menor que la suma del vector de las dos bandas laterales. En consecuencia, la envolvente asemeja una señal sobremodulada, causando una distorsión severa a la señal demodulada.

La tercera causa del desvanecimiento selectivo es un desplazamiento de fase de banda lateral o de portadora. Cuando cambian las posiciones relativas de los vectores de la banda lateral y de la portadora de la señal recibida, ocurrirá un cambio definitivo en la forma de la envolvente, causando una señal demodulada severamente distorsionada.

Cuando se transmite sólo una banda lateral y una portadora suprimida o reducida, el desplazamiento de fase y el desvanecimiento de la portadora no pueden ocurrir, y el desvanecimiento de la banda lateral cambia la respuesta de amplitud y frecuencia de la señal demodulada. Estos cambios no producen generalmente suficiente distorsión para ocasionar pérdida de inteligibilidad de la señal recibida. Con la transmisión en banda lateral única, no es necesario mantener una relación de amplitud o fase específica entre la portadora y la banda lateral.

4. Reducción de ruido. Debido a que el sistema de banda lateral única utiliza sólo la mitad del ancho de banda que la AM convencional, la potencia de ruido térmico se reduce a la mitad del sistema de doble banda lateral.

## **Desventajas del uso de transmisores de banda lateral única**

1. Receptores complejos. Los sistemas de banda lateral única requieren de receptores más complejos y costosos que para la transmisión de AM convencional. Esto se debe a que la mayoría de las transmisiones de banda lateral única incluyen una portadora reducida o suprimida; por lo tanto, no puede utilizarse la detección de envolvente a no ser que la portadora se regenere a un nivel elevado. Los receptores de banda lateral única requieren de un circuito de sincronización y recuperación de la portadora, como un sintetizador de frecuencias PLL, que eleva su costo, complejidad y tamaño.

2. Dificultades de sintonización. Los receptores de banda lateral única requieren una sintonización más compleja y precisa que los receptores de AM convencional. Esto es indeseable para el usuario normal. Esta desventaja puede superarse utilizando circuitos de sintonización más precisos, complejos y costosos.

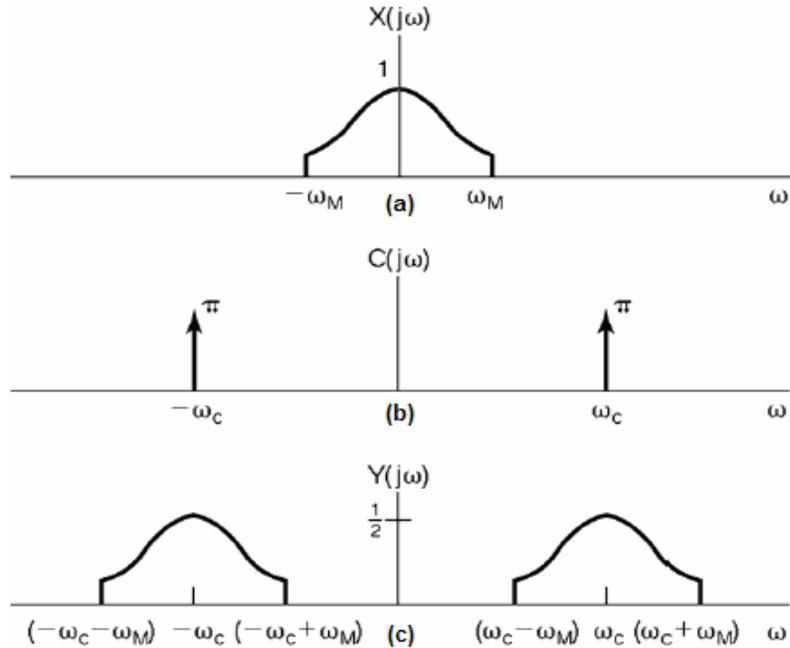
## **1.3 DEMODULACIÓN EN AMPLITUD**

La demodulación es el proceso inverso a la modulación, simplemente convierte una onda de amplitud modulada nuevamente a la fuente original de información. Cuando se demodula una onda AM, la portadora y la porción de la envolvente que lleva la información se convierten o se trasladan del espectro de radiofrecuencia a la fuente original de información.

Dependiendo del tipo de modulación de amplitud que se utilice variará el método de demodulación, a continuación se describe brevemente los métodos más utilizados.

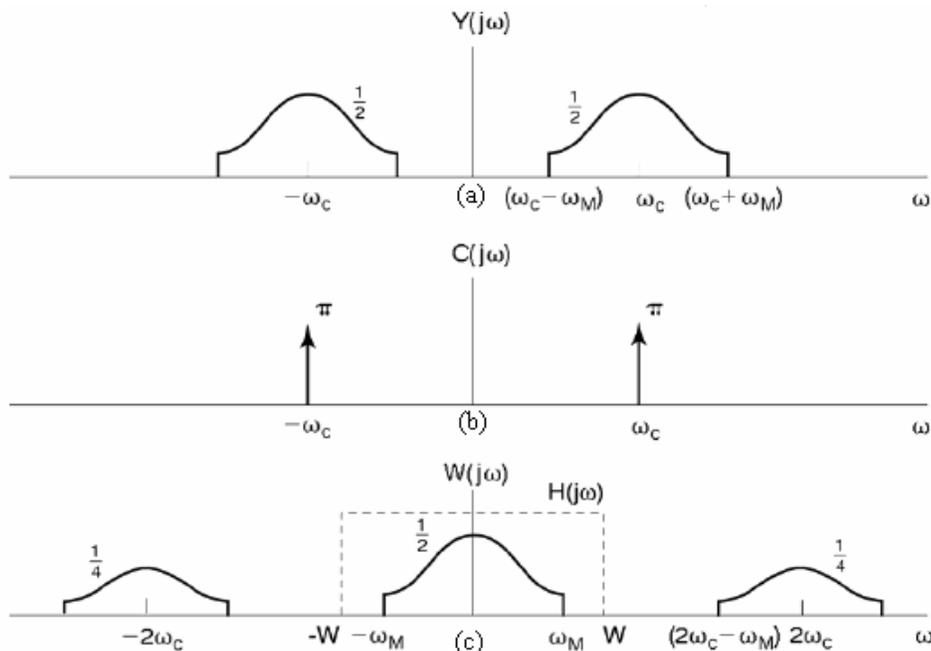
### **1.3.1 DEMODULACIÓN SÍNCRONA**

Como se explicó anteriormente al multiplicar la señal modulante por una portadora se obtiene una señal trasladada en el espectro, es decir, una señal modulada, lo que se observa en la figura 1.14:



**Figura 1.14:** a) Señal modulante, b) Portadora, c) Señal modulada

La detección sincrónica se basa en multiplicar una señal modulada en AM por una señal sinusoidal con la misma frecuencia portadora, la señal se trasladará a su frecuencia original y así se logra recuperar la información utilizando un filtro pasa bajos. El proceso descrito anteriormente se observa en la figura 1.15:



**Figura 1.15:** Demodulación con detección sincrónica. (a) Señal AM en frecuencia, (b) Portadora, (c) Señal AM demodulada en frecuencia

En el análisis anterior se consideró a la señal demoduladora sincronizada en fase y en frecuencia con la señal portadora de AM, de lo contrario se presentarían factores que desfavorecen la correcta demodulación de la señal. En la figura 1.16 se presentan los efectos que pueden ocurrir cuando existe un desfase  $\theta$  entre la frecuencia de portadora original y la frecuencia que se usa para la demodulación.

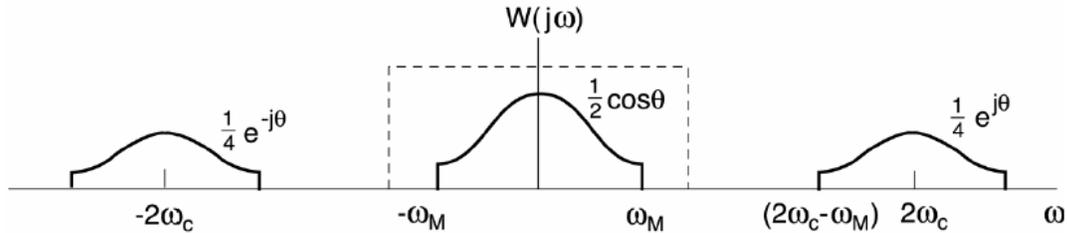


Figura 1.16: Demodulación sincrónica con desfase  $\theta$

Cuando  $\theta = 0^\circ$ , la señal demoduladora está sincronizada en fase con la señal portadora original, en este caso el análisis inicial no presentaría variaciones.

Cuando  $\theta = 90^\circ$ , la señal demoduladora se encuentra a  $90^\circ$  fuera de fase con la portadora, en cuyo caso la señal a recuperar se anularía.

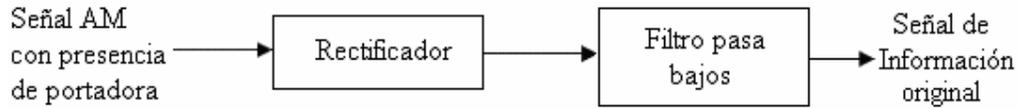
Cuando  $\theta \neq 0^\circ$ , la señal puede ser demodulada siempre y cuando el factor  $\theta$  de desfase se mantenga constante en el tiempo, en este caso se presentaría un factor de atenuación dado por el valor  $\cos \theta$ .

Otros de los factores que pueden afectar a la correcta demodulación de la señal es la frecuencia, en cuyo caso la señal a recuperar presentaría nuevas componentes espectrales, que al ser de frecuencia baja pueden pasar a través del filtro pasa bajos ocasionando una distorsión en la señal.

Este tipo de demodulación es utilizada cuando se tiene modulación sin portadora, ya que es necesario trasladar las frecuencias en el espectro para recuperar la información reconstruyendo la banda original del mensaje.

### 1.3.2 DEMODULACIÓN ASINCRÓNICA

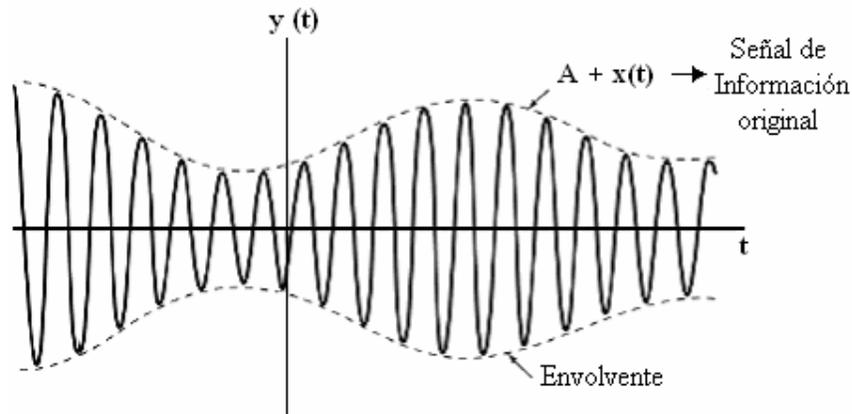
En la figura 1.17 se presenta un diagrama de bloques donde se describe el proceso de demodulación asincrónica.



**Figura 1.17: Diagrama de demodulación de onda AM con presencia de portadora**

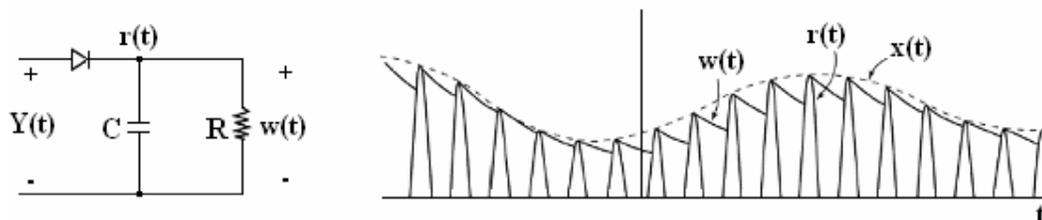
La demodulación asincrónica evita la necesidad de tener un riguroso sincronismo entre la portadora en recepción y la portadora en transmisión.

Las consideraciones básicas que se requieren para utilizar este tipo de demodulación son: **a)** el índice de modulación  $m$  debe estar comprendido entre  $0 < m \leq 1$ ; **b)** que la frecuencia de repetición de la envolvente  $f_m$  varíe lentamente comparado con la frecuencia de la portadora, con el fin de que pueda ser fácilmente rastreada; y **c)** Asegurar que la envolvente tenga un valor positivo, es decir, sumar una constante  $A$  positiva de tal manera que  $A + x(t) > 0$  para todo  $t$ . Lo citado anteriormente se presenta en la figura 1.18:



**Figura 1.18: Señal modulada en amplitud**

Un ejemplo del detector de envolvente se presenta en la siguiente figura:



**Figura 1.19: Detector de envolvente**

De la figura 1.19 la señal modulada pasa por un rectificador el cual detecta los picos, para el correcto rastreo de los mismos la constante de descarga  $\tau$  definida por el capacitor y el resistor debe variar entre los siguientes valores:

$$\tau > \frac{1}{2\pi f_c} \quad \text{y} \quad \tau < \frac{1}{2\pi f_m} \quad (1.25)$$

La constante  $\tau$  al variar entre estos dos valores se asegura que se rastree correctamente los picos, de esta manera la señal en la resistencia se aproxima a la envolvente, la cual contiene la información.

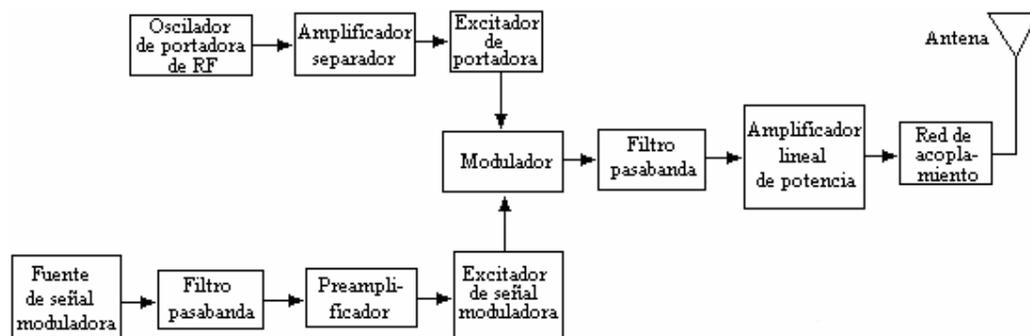
## **1.4 ESQUEMAS UTILIZADOS EN LA TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN EN AM**

### **1.4.1 ESQUEMA DE TRANSMISIÓN**

En el siguiente diagrama de bloques se muestra un transmisor AM. Cuando se transmite voz o música, la fuente de señal moduladora es en general un transductor acústico, como un micrófono, una cinta magnética o un CD. El preamplificador suele ser un amplificador sensible y lineal de voltaje de clase A, con alta impedancia de entrada, su función es elevar la amplitud de la señal de la fuente hasta un valor útil, produciendo a la vez una distorsión no lineal mínima, tratando de introducir a la señal el menor ruido térmico que sea posible. El excitador de la señal moduladora es un amplificador que sólo amplifica la señal de información hasta un valor adecuado para la excitación suficiente del modulador. Se puede requerir más de un amplificador de excitación.

El oscilador de portadora de RF puede tener cualquier configuración, pero de acuerdo a requisitos de exactitud y estabilidad del transmisor, se usan frecuentemente los osciladores controlados por cristal. El amplificador separador es un amplificador lineal de baja ganancia y alta impedancia de entrada. Su función es aislar al oscilador de los amplificadores de alta potencia, además proporciona una carga relativamente constante al oscilador, que ayuda a reducir

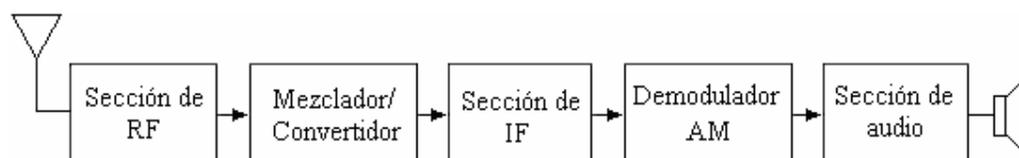
la ocurrencia y magnitud de variaciones de frecuencia de corto plazo. El modulador puede tener modulación por emisor o por colector. Los amplificadores de potencia son moduladores en contrafase lineales de clase A o de clase B, estos se requieren con los transmisores para mantener la simetría de la envolvente de AM. La red de acoplamiento compensa la impedancia de salida del amplificador de potencia, con la de la línea de transmisión y la antena.



**Figura 1.20: Diagrama de bloques de un transmisor en AM**

#### 1.4.2 ESQUEMA DE RECEPCIÓN

Un receptor debe ser capaz de recibir, amplificar, y demodular una señal de RF, el mismo opera en una banda específica de frecuencias. Una vez que una señal de RF se recibe, se amplifica, y se limitan las bandas (proceso de filtrado), debe convertirse a la fuente original de información. A este proceso se le llama demodulación. Una vez demodulada, la información podría requerir de mayor limitación de las bandas y una amplificación, antes de considerarse lista para usar. La figura 1.21 muestra un diagrama de bloques simplificado de un típico receptor AM. La sección de RF es la primera etapa y, por lo tanto, frecuentemente se llama la parte frontal. Las funciones principales de la sección de RF son: limitar las bandas y amplificar las señales RF recibidas. En esencia, la sección de RF establece el umbral del receptor.



**Figura 1.21: Diagrama de bloques de un receptor AM**

La sección de RF abarca uno o más de los siguientes circuitos: antena, red de acoplamiento de la antena, filtro (pre-selector), y uno o más amplificadores de RF. La sección de mezclador/convertidor reduce las frecuencias de RF recibidas a frecuencias intermedias (IF). La sección de IF generalmente incluye varios amplificadores en cascada y los filtros pasa-bandas. Las funciones principales de la sección de IF son la amplificación y selectividad. El demodulador recupera la información de la fuente original. La sección de audio simplemente amplifica la información recuperada a un nivel utilizable.

## **1.5 RADIODIFUSIÓN**

La radiodifusión es un sistema de información a distancia, es decir, tiene por objeto hacer llegar a un punto lejano la información procedente de otro punto, siendo ésta unilateral, destinada a un público masivo, diverso, anónimo, y disperso. La radio es el medio electrónico con mayor penetración a escala mundial debido a sus características de accesibilidad y versatilidad.

Los sistemas de radiodifusión como los sistemas de radio y de televisión, tuvieron sus inicios en las dos primeras décadas del siglo pasado. En este periodo se fijó las bases de la radiocomunicación, que como complemento dio origen a las transmisiones comerciales de radio. Para ambos sistemas se necesita que las señales originales que contienen la información que va a ser transmitida, sean convertidas en señales eléctricas, y a su vez en señales electromagnéticas, las mismas que serán depositadas en la atmósfera para su transmisión.

Todos los sistemas de transmisión que se utilizan para la emisión de señales de radio y televisión se componen de tres partes básicas: el transmisor, el enlace entre emisor y receptor, y el receptor. En el transmisor es donde se realiza la modulación, la mezcla y la radiación de las señales moduladas a través de una antena. Debe adecuarse la potencia con que se transmiten las señales a las condiciones del canal de transmisión para que puedan llegar al receptor. El enlace entre el emisor y el receptor es el medio físico por donde se transmite la señal de

radio o televisión (generalmente suele ser la atmósfera). El receptor se encarga de recibir y descifrar las señales que le llegan por el medio de transmisión.

A los sistemas de radiodifusión se los distingue como terrestres a aquellos cuyo emisor del programa y la red de difusión están en la tierra. En el caso de que el estudio de la estación esté en tierra y la emisión de señales se realice por medio de un emisor situado en un satélite, se dice que ésta es una transmisión vía satélite. Los sistemas de recepción de estas señales deben adecuarse a la forma como se emite la información.

### **1.5.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE TRANSMISIÓN POR RADIO**

Las ondas de radio son ondas electromagnéticas a las cuales se les confiere tres ventajas importantes:

- No es necesario un medio físico para su propagación, las ondas electromagnéticas pueden propagarse incluso por el vacío.
- La velocidad es la misma que la de la luz, es decir, 300.000 Km/seg.
- Objetos que a nuestra vista resultan opacos son transparentes a las ondas electromagnéticas.

No obstante las ondas electromagnéticas se atenúan con la distancia, de igual forma y en la misma proporción que las ondas sonoras. Sin embargo, es posible minimizar este efecto usando una potencia elevada en la generación de la onda.

### **1.5.2 GENERACIÓN Y PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS DE RADIO**

Las ondas de radio son generadas aplicando una corriente alterna de radiofrecuencia a una antena. La antena es un conductor eléctrico de características especiales que debido a la acción de la señal aplicada genera campos magnéticos y eléctricos variables a su alrededor, produciendo la señal de radio en forma de ondas electromagnéticas.

Estas ondas se transmiten desde un punto central (la antena emisora) de forma radial y en todas las direcciones, se diferencian dos formas de transmisión:

- **Onda superficial:** en principio las ondas de radio se desplazan en línea recta, atravesando la mayoría de los objetos que estén en su camino con mayor o menor atenuación. Las pérdidas por dicha atenuación dependen de la frecuencia de transmisión y de las características eléctricas de la tierra o del material atravesado. En términos generales a menor frecuencia mayor es el alcance de la onda y cuanto menor sea la densidad del material más fácil será atravesarlo. Parte de esta onda es reflejada por la superficie terrestre.
- **Onda ionosférica:** la atenuación en el aire es muy pequeña, lo que hace que la onda pueda alcanzar las capas altas de la atmósfera (ionosfera) y ser reflejada en su mayor parte de vuelta a tierra.

El mayor inconveniente que se tiene es que la transmisión de estos tres frentes no se hace recorriendo la misma distancia, ya que las ondas reflejadas se retrasan con respecto a la onda directa, produciéndose un desfase que genera ruido (e incluso llegando a anular la onda si el desfase es de 180 grados).

Otro inconveniente es que en onda media la onda espacial no regresa a tierra durante el día pero sí durante la noche, debido a que la altura de la ionosfera se reduce. En onda corta tenemos adicionalmente el inconveniente que a partir de una frecuencia crítica las ondas no son reflejadas a tierra y escapan al espacio.

### **1.5.3 SERVICIOS DE RADIODIFUSIÓN**

Son aquellos servicios de telecomunicaciones cuyas transmisiones están destinadas a la recepción libre y directa por el público en general. Estos servicios comprenden emisiones sonoras o de televisión.

Entre los puntos débiles que se puede señalar de los servicios de radiodifusión está la unisensorialidad, ya que el mensaje llega a un solo sentido que es nuestro oído. Otra limitación es la unidireccionalidad, ya que en la transmisión el oyente solo hace el papel de receptor y no puede dar una respuesta ante el mensaje recibido. Se cita también la ausencia del público y la fugacidad del mensaje y no poder saber que efecto causó el mensaje. Estas limitaciones no son fáciles de superar en lo que se refiere a lograr una mayor atención por parte de los oyentes.

## 1.6 RADIODIFUSIÓN SONORA

Una estación de radiodifusión sonora es un transmisor con su antena e instalaciones accesorias, necesarias para asegurar el servicio en un área de operación autorizada. Las estaciones de radiodifusión y televisión se clasifican en la Ley de Radiodifusión y Televisión y su Reglamento, presentados en el Anexo 9.

### 1.6.1 FRECUENCIAS AUXILIARES DE RADIODIFUSIÓN

Son las frecuencias atribuidas a los servicios fijo y móvil, necesarias para la operación y funcionamiento de las estaciones y sistemas de radiodifusión; estas frecuencias corresponden a los enlaces radioeléctricos entre estudio y transmisor, enlaces radioeléctricos terrestres y enlaces de conexión ascendente y descendente satelitales y entre estaciones repetidoras, cuyo objetivo principal es llevar la programación desde la estación matriz hacia las repetidoras, logrando de esta manera cubrir y ampliar las mismas.

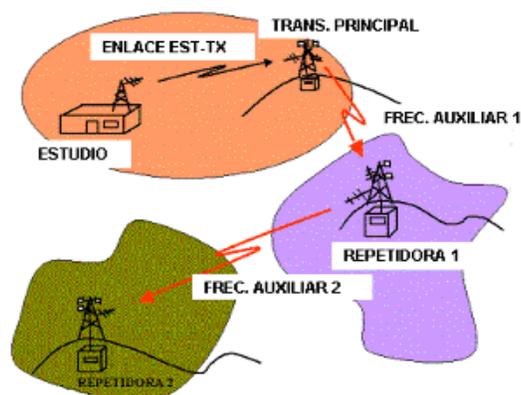


Figura 1.22: Ejemplo de frecuencias auxiliares

### *Bandas atribuidas para enlaces de radiodifusión sonora<sup>2</sup>*

Rango (MHz)	BW (MHz)
216 – 220	4
222 – 235	13
246 – 248	2
417.5 – 430	12.5
937 – 940	3
941 – 951	10
956 – 960	4
1670 – 1690	20

**Tabla 1.1: Bandas y sub-bandas atribuidas a enlaces de radiodifusión sonora**

## 1.7 RADIODIFUSIÓN ANALÓGICA

La radiodifusión analógica es una forma de transmitir señales analógicas, mediante la modulación, a través del espectro radioeléctrico. Para la radiodifusión sonora en AM se utiliza la modulación de amplitud de doble banda lateral con portadora completa DSB-FC.<sup>3</sup>

El ancho de banda es la anchura del espectro utilizado. Muchas señales tienen un ancho de banda infinito, pero la mayoría de la energía está concentrada en un ancho de banda pequeño. Todas las formas de telecomunicación actuales ocupan sólo una porción relativamente pequeña del espectro electromagnético. Sin embargo, existen rangos de frecuencia que se emplean de manera constante y la competencia para que este recurso sea asignado puede llegar a ser incontrolable, ocasionando la saturación del espectro radioeléctrico para las emisiones terrenas de radio y televisión analógicas.

Otro problema que se debe mencionar es que en la transmisión analógica de audio la señal se debilita con la distancia y puede sufrir diversas atenuaciones, una de ellas se da cuando la señal que llega al receptor en un canal multitrayecto se altera por diversos efectos físicos ocasionando un desvanecimiento de la señal. Adicionalmente, en los receptores en movimiento se producen cambios de frecuencia y fase (efecto Doppler).

<sup>2</sup> Fuente de la página web de la Superintendencia de Telecomunicaciones.

<sup>3</sup> Citado en el acuerdo de Río de Janeiro de 1981 para las transmisiones AM en la Región 2 de la UIT.

### 1.7.1 BANDAS DE FRECUENCIAS

El espectro radioeléctrico es un recurso natural de propiedad exclusiva del Estado y como tal constituye un bien de dominio público, inalienable e imprescriptible, cuya gestión, administración y control corresponde al Estado.<sup>4</sup>

El espectro electromagnético se divide en bandas de frecuencias según las normas de los organismos reguladores de las comunicaciones mundiales que forman parte de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). El espectro radioeléctrico se subdivide en nueve bandas de frecuencias, que se designan por números enteros, en orden creciente, de acuerdo a la tabla 1.2. Se han establecido límites muy claros para las frecuencias y tienen que ser respetados por los diseñadores y usuarios.

Nº	Banda	Intervalo de frecuencia	Denominación métrica	Abreviatura calificada
0		0.3 - 3 Hz		
1		3 - 30 Hz		
2		30 - 300 Hz		
3		300 - 3000 Hz		
4	Muy baja frecuencia	3 - 30 kHz	Miriamétricas 100 Km a 10 Km	VLF
5	Baja frecuencia	30 - 300 kHz	Kilométricas 10 Km a 1 Km	LF
6	Medias frecuencias	300 - 3000 kHz	Hectométricas 1000 m a 100 m	MF
7	Altas frecuencias	3 - 30 MHz	Decamétricas 100 m a 10 m	HF
8	Muy altas frecuencias	30 - 300 MHz	Métricas 10 m a 1 m	VHF
9	Ultra altas frecuencias	300 - 3000 MHz	Decimétricas 1 m a 0.1 m	UHF
10	Super altas frecuencias	3 - 30 GHz	Centimétricas 10 cm a 1 cm	SHF
11	Frecuencias extremadamente altas	30 - 300 GHz	Milimétricas 10 mm a 1 mm	EHF
12		300 - 3000 GHz	Decimilimétricas 1 mm a 0.1 mm	S/N
			Centimilimétricas	Infrarrojo
			Micrométricas	Rojo
			Decimicrométricas	Luz visible
			Centrimicrométricas	Ultravioleta
			Nanométricas	Ultravioleta lejano

**Tabla 1.2: Bandas del espectro de frecuencias**

<sup>4</sup> Reforma a la Ley Especial de Telecomunicaciones, artículo 2, Registro Oficial 770, agosto de 1995.

## 1.7.2 TECNOLOGÍAS DE RADIODIFUSIÓN ANALÓGICA

Entre las tecnologías desarrolladas e implementadas actualmente para lograr la radiodifusión de audio analógico, está la modulación en frecuencia FM que es la más difundida ya que brinda la mejor calidad de sonido; debido a que es menos susceptible a interferencias y utiliza un mayor ancho de banda. Para la radiodifusión analógica también se utiliza modulación en amplitud AM, la cual ofrece amplias zonas de cobertura y simplicidad en los dispositivos de recepción.

### 1.7.2.1 Radiodifusión con modulación en amplitud

Este tipo de radiodifusión consiste en la transmisión de la señal portadora modulada en amplitud, en el rango de frecuencias por debajo de los 30 MHz, permitiendo la emisión y recepción de información sonora.

Las interferencias de radiofrecuencia en sistemas de radiodifusión con modulación en amplitud, son producidas por el ruido de motores, la electricidad estática y los rayos de tormentas, que afectan considerablemente a la señal ya que estas variaciones alteran la amplitud de la señal modulada.

La propagación en estas frecuencias se efectúa por onda de superficie, ionosférica o ambas. La radiodifusión en amplitud modulada usa las siguientes bandas para su difusión:

**a) Onda larga:** también llamadas ondas kilométricas, su longitud de onda va de 600 a 3000 metros y su gama de frecuencias va de 100 a 500 kHz. Se propagan bien por onda de superficie pudiendo conseguir coberturas de ámbito nacional, no sufre pérdida de contenido pero acumula muchos ruidos parásitos por lo que no es recomendable para la radiodifusión. En estas bandas de frecuencia se iniciaron las primeras emisiones de radiodifusión sonora. En el país no existen estaciones que trabajen en esta banda.

**b) Onda media:** también llamadas ondas hectométricas, su longitud de onda va de 200 a 600 metros con frecuencias de 525 a 1605 kHz. Su propagación se realiza fundamentalmente por onda de superficie en el día, aunque su propagación es menos eficiente que las ondas largas. Las estaciones que utilizan estas frecuencias suelen tener cobertura de ámbito nacional (530 - 1000 kHz), regional (1000 - 1200 kHz) y local (1200 - 1600 kHz), por lo que es muy utilizada en zonas rurales. Se la emplea en radiocomunicación, su propagación es mejor durante el invierno y en las noches por onda ionosférica, pero produce interferencias a otras emisoras lejanas que trabajan en la misma frecuencia.

**c) Onda corta:** también llamadas ondas decamétricas, su longitud de onda va de 10 a 100 metros con frecuencias de 3 a 30 MHz. Son las frecuencias más altas que facilitan la radiodifusión internacional, su propagación depende de la ionización atmosférica por lo que su uso tiene mucho que ver con la hora del día y la estación del año.

Las frecuencias más bajas dentro del espectro radioeléctrico sufren menos atenuación por el tipo de terreno (conductividad eléctrica), que las frecuencias más altas. Debido a la limitación en el ancho de banda (10 kHz) sugerida por la UIT se puede introducir el mayor número de canales en estas bandas de frecuencias. Este requisito causa que la calidad de sonido que tiene esta modulación sea regular, con ese ancho de banda no es posible enviar un sonido de calidad. De estas bandas de frecuencias las más conocidas y utilizadas para la radiodifusión sonora son las ondas medias.

## **1.8 SITUACIÓN DE LA RADIODIFUSIÓN EN EL ECUADOR**

### **1.8.1 BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LA RADIODIFUSIÓN EN EL ECUADOR**

La radio apareció en nuestro país en 1924 con "Radio El Prado" en Riobamba, donde se empleó un transmisor de 100 W para realizar pruebas de transmisión desde una fábrica de tejidos, hasta perfeccionarla un año después realizando con éxito una transmisión al colegio San Felipe.

En 1926 aparece la primera emisora en Guayaquil.

Luego de esto nace en 1929 "Radio Nacional" (HCDJB) con una potencia de 15 W en donde se transmitían eventos deportivos. En 1932 con 250 W de potencia cambia sus siglas por HCK.

La radio estatal es inaugurada en 1940; en 1960 aparece "Radio Nacional del Estado" con 100 W. En 1969 se reemplaza por un transmisor de 10 kW en los 600 metros.

En 1930 aparece la radio privada en Quito con "Radio HCJB" con un transmisor de 250 W. Su primera emisión se realizó el 31 de diciembre de 1931. Este mismo año aparece "Ecuador Radio" en onda corta con autorización del gobierno.

Conforme avanzaba el tiempo cada vez aparecían más estaciones en el país, empezando con emisiones en AM hasta que apareció el sonido estéreo y la FM. A partir de 1950 tuvo un gran impulso y desarrollo la industria radiofónica. Durante los 90`s se da una concesión masiva de frecuencias a diversas instituciones.

En el 2005 existían 875 estaciones de FM (matrices y repetidoras) y 304 estaciones para AM. Actualmente existen 887 estaciones de FM (matrices y repetidoras), 277 estaciones para AM, y 22 estaciones en onda corta.

### **1.8.2 PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS**

Mediante la resolución No. 393-18-CONATEL-2000<sup>5</sup> se aprobó el Plan Nacional de Frecuencias que permite la adecuada y eficaz gestión del espectro radioeléctrico. La Ley Reformatoria de Radiodifusión y Televisión establece que el Plan Nacional de Frecuencias formule normas para la distribución de las bandas, sub-bandas y canales radioeléctricos para los diferentes servicios de radiocomunicaciones. A continuación se muestra la distribución de frecuencias para el servicio de radiodifusión sonora por debajo de 30 MHz.

---

<sup>5</sup> Registro Oficial No. 192 del 26 de Octubre de 2000

Bandas	Servicio	Característica
525 - 535 kHz	Radiodifusión Sonora	Amplitud Modulada
535 - 1605 kHz		
1605 - 1625 kHz		
1625 - 1705 kHz		
2300 - 2495 kHz	Radiodifusión Sonora	Onda Corta para la Zona Tropical
3200 - 3230 kHz		
3230 - 3400 kHz		
4750 - 4850 kHz		
4850 - 4995 kHz		
5005 - 5060 kHz		
5900 - 5950 kHz	Radiodifusión Sonora	Onda Corta Internacional o Decamétricas
5950 - 6200 kHz		
7300 - 7350 kHz		
9400 - 9500 kHz		
9500 - 9900 kHz		
11600 - 11650 kHz		
11650 - 12050 kHz		
12050 - 12100 kHz		
13570 - 13600 kHz		
13600 - 13800 kHz		
13800 - 13870 kHz		
15100 - 15600 kHz		
15600 - 15800 kHz		
17480 - 17550 kHz		
17550 - 17900 kHz		
18900 - 19020 kHz		
21450 - 21850 kHz		
25670 - 26100 kHz		

**Tabla 1.3: Plan Nacional de Frecuencias para el servicio de radiodifusión sonora**

La radio ha sido considerada un medio de comunicación de gran influencia y accesibilidad a nivel mundial debido a la rapidez de su desarrollo y popularidad, por lo que es muy importante en términos de penetración en las áreas suburbanas. Sin embargo el medio esta contaminado debido a sus reglamentaciones y permisos de frecuencias. Otro factor negativo es que no existe el concepto de "cadena" así que la mayor parte de las estaciones de radio opera en forma independiente. La principal ventaja de la radiodifusión AM con respecto a FM es la

gran cobertura que ofrece a menor costo, aprovechando las características que ofrece la propagación de las ondas en esta banda.

### 1.8.3 CLASIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES SEGÚN LA POTENCIA

Según la Ley de Radiodifusión y Televisión de acuerdo a la potencia y a la frecuencia de una estación se da la siguiente clasificación<sup>6</sup>:

Frecuencia	Potencia
Onda media (Amplitud modulada - AM)	Nacionales (> 10 Kw) Regionales (entre 3 y 10 Kw) Locales ( $\leq$ 3 Kw). El mínimo de potencia de las estaciones de Onda Media locales, en las capitales de provincia y de otras ciudades cuya población pase de cincuenta mil habitantes, será de 1 Kw. En las ciudades cuya población no llegue a dicha cantidad, será de 500 W.
Onda Corta para la zona TROPICAL	Mínima de 1 Kw y una máxima de 10 Kw
Onda corta INTERNACIONAL Decamétricas	Mínima de 10 Kw
Estaciones repetidoras	De acuerdo al área a cubrirse y a la banda en la que se asignen los canales.

**Tabla 1.4: Clasificación de las estaciones de acuerdo a su potencia**

### 1.8.4 ESTACIONES DE RADIODIFUSIÓN EN EL PAÍS

Para que se logre la concesión de una frecuencia para radiodifusión, el país cuenta con normas técnicas para la asignación de los canales del espectro cuyo cumplimiento en todas sus etapas está a cargo de los organismos reguladores del Estado (CONARTEL y SUPTEL). La aprobación técnica de estaciones AM considera el Acuerdo Regional sobre el servicio de radiodifusión por ondas hectométricas celebrado en la ciudad de Río de Janeiro el año 1981 y de la Ley y Reglamento de Radiodifusión y Televisión vigente. Para Onda Corta (OC) se utilizan las disposiciones indicadas en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT ya que estas señales son de carácter regional y mundial.

<sup>6</sup> Ley de Radiodifusión y Televisión, capítulo V, artículos 28, 29, 30 y 33. Referido a las emisiones por debajo de 30 MHz.

Provincias	Onda Corta	Amplitud modulada	Frecuencia modulada		Total radiodifusión sonora <sup>7</sup>
			Matriz	Repetidora	
Azuay	0	19	31	32	82
Bolívar	0	6	16	3	25
Cañar	0	8	15	10	33
Carchi	0	4	18	15	37
Chimborazo	1	17	20	14	52
Cotopaxi	1	13	15	1	30
El Oro	0	19	35	19	73
Esmeraldas	0	7	19	18	44
Francisco de Orellana	0	0	9	5	14
Galápagos	0	1	8	5	14
Guayas	0	52	72	42	166
Imbabura	2	15	24	10	51
Loja	5	11	35	23	74
Los Ríos	0	6	21	16	43
Manabí	0	17	51	29	97
Morona Santiago	5	2	14	17	38
Napo	3	2	8	14	27
Pastaza	0	2	10	5	17
Pichincha	4	55	68	27	154
Sucumbíos	0	2	19	12	33
Tungurahua	1	19	18	23	61
Zamora Chinchipe	0	0	8	13	21
<b>TOTAL:</b>	<b>22</b>	<b>277</b>	<b>534</b>	<b>353</b>	<b>1186</b>

**Tabla 1.5: Número de frecuencias concesionadas para radiodifusión a nivel nacional**

### 1.8.5 ANÁLISIS DEL ANCHO DE BANDA EMPLEADO

Según los datos actualizados de las frecuencias para radiodifusión otorgadas por el CONARTEL, se puede realizar un análisis del porcentaje de espectro radioeléctrico que se ha empleado hasta estos días y así determinar cuantos canales están ocupados y cuantos están libres para la radiodifusión en AM.

Cabe aclarar que actualmente no existe una norma técnica reglamentaria para radiodifusión en amplitud modulada analógica, por lo que la distribución de frecuencias se la realiza en base a parámetros técnicos de estudios en los que se verifique que no exista interferencia entre los canales asignados en las zonas y se

<sup>7</sup> Datos hasta diciembre del 2006 de la base de datos de la Superintendencia de Telecomunicaciones.

comprueba la cobertura de las estaciones; estas asignaciones se realizan a conveniencia de los concesionarios y del organismo regulador.

### 1.8.5.1 Canales y anchos de banda para AM

El Plan Nacional de Frecuencias establece que la banda desde 525 - 1705 kHz, es atribuida al servicio de radiodifusión sonora en amplitud modulada.

La banda AM esta distribuida en canales que ocupan un ancho de banda de 10 kHz con una canalización de 20 kHz, por lo que se determina que existen 118 canales para este tipo de radiodifusión. La numeración va desde el canal 1 en 530 kHz hasta el canal 118 en 1700 kHz, pero dado que los canales adyacentes están separados 20 kHz se cuenta con 59 canales dentro de una misma zona.

Provincia	Canales ocupados		Canales libres	
	Número	Porcentaje %	Número	Porcentaje %
Azuay	19	32.20	40	67.80
Bolívar	6	10.17	53	89.83
Cañar	8	13.56	51	86.44
Carchi	4	6.78	55	93.22
Chimborazo	17	28.81	42	71.19
Cotopaxi	13	22.03	46	77.97
El Oro	19	32.20	40	67.80
Esmeraldas	7	11.86	52	88.14
Francisco de Orellana	0	0	59	100
Galápagos	1	1.69	58	98.31
Guayas	52	88.14	7	11.86
Imbabura	15	25.42	44	74.58
Loja	11	18.64	48	81.36
Los Ríos	6	10.17	53	89.83
Manabí	17	28.81	42	71.19
Morona Santiago	2	3.39	57	96.61
Napo	2	3.39	57	96.61
Pastaza	2	3.39	57	96.61
Pichincha	55	93.22	4	6.78
Sucumbíos	2	3.39	57	96.61
Tungurahua	19	32.20	40	67.80
Zamora Chinchipe	0	0	59	100

**Tabla 1.6: Porcentajes de ocupación de canales AM**

### **1.8.6 REGULACIÓN DE SERVICIOS DE RADIODIFUSIÓN Y TELEVISIÓN EN EL PAÍS**

Según la Ley de Radiodifusión y Televisión en lo referente a canales de radiodifusión, señala que los canales o frecuencias de radiodifusión y televisión constituyen un patrimonio nacional. Se entiende como radiodifusión la comunicación sonora unilateral a través de la difusión de ondas electromagnéticas que se destinan a ser escuchadas por el público en general.<sup>8</sup>

En la misma ley, señala que el Estado, a través del Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión (CONARTEL), otorgará frecuencias o canales para radiodifusión y televisión, así como regulará y autorizará estos servicios en todo el territorio nacional, de conformidad con esta Ley.

Este organismo del Estado tiene entre sus atribuciones las de hacer cumplir la ley, expedir reglamentos administrativos, técnicos y regulaciones, aprobar el Plan Nacional de Distribución de Frecuencias para radiodifusión y televisión o sus reformas, dar concesión a emisoras, aprobar las tarifas para las frecuencias radioeléctricas, vigilar el cumplimiento del requisito de nacionalidad, de ser ecuatoriano, para las personas naturales o jurídicas concesionarias de canales de radiodifusión y televisión, velar por el pleno respeto a las libertades de información, controlar la calidad de los programas, dispone que toda estación está obligada a prestar servicios sociales gratuitos en cuanto a emisión de información por parte de las autoridades de los tres poderes ejecutivo, legislativo o judicial en beneficio del país, entre muchas otras más.

Los principales servicios de radiodifusión y televisión, sujetos al control y gestión del organismo mediante la Ley de Radiodifusión y Televisión y a las disposiciones de ésta son:

---

<sup>8</sup> Reforma a la Ley de Radiodifusión y Televisión, título I, artículo 1. Registro Oficial No. 691, 9 de mayo de 1995.

- Onda Corta (OC)
- Amplitud Modulada (AM)
- Frecuencia Modulada (FM)
- Televisión Abierta (VHF, UHF)
- Televisión por suscripción: Terrestre, Satelital y por Cable
- Frecuencias Auxiliares de Radiodifusión y Televisión

La Constitución Política de la República establece que el Estado debe garantizar el derecho a la comunicación y a fundar medios de comunicación social y a acceder, en igualdad de condiciones, a frecuencias de radiodifusión y televisión; sin embargo de ello, la problemática que se presenta para la asignación de frecuencias es la limitación natural del espectro radioeléctrico; la presión de la demanda de frecuencias o canales para medios de radiodifusión; y, la necesidad de optimización y racionalización del uso del espectro.

#### **1.8.6.1 Programación de las estaciones de radiodifusión**

Las estaciones de radiodifusión y televisión elaborarán y emitirán su programación siguiendo ciertas normas entre las que deben poner énfasis de forma objetiva en el conocimiento y divulgación de la realidad nacional e internacional, en la información científica y técnica, en la promoción de la cultura nacional y derechos humanos y en la educación y formación moral de la niñez y juventud, y en general de la población; se empeñarán en conservar y fortalecer la unidad nacional, procurarán constantemente la educación política y cívica del pueblo ecuatoriano, mediante el conocimiento de la Constitución y leyes de la República, de sus derechos y obligaciones y de las instituciones que los garantizan y hacen efectivos. La programación, incluida los avances de los programas y la publicidad, será apta para todo público.<sup>9</sup>

Se puede distinguir entre emisoras habladas, musicales y mixtas.

---

<sup>9</sup> Reforma a la Ley de Radiodifusión y Televisión, título IV, capítulo II. Registro Oficial No. 691, 9 de mayo de 1995.

En las habladas la prioridad es la palabra, evitan la difusión de música, la cual se la utiliza como auxiliar en ocasiones especiales tales como fines de semana, horarios nocturnos y en la madrugada. La audiencia de este tipo de emisoras depende de eventos, de su ubicación geográfica, etc., la prioridad de estas radios es la información, la opinión, análisis y reacciones sobre acontecimientos coyunturales. Con el fin de lograr mayor audiencia ofrecen una programación dirigida con invitados, participación ciudadana, concursos, mesas redondas, paneles, charlas, etc.

Las radios musicales son las que dan prioridad a la música en toda su programación, que la emplean para captar audiencia. Este tipo de estaciones habitualmente se especializan en determinados géneros musicales. Emplean la palabra como complemento.

A pesar que la radio es el medio de comunicación de mayor difusión, ninguna emisora llega a todos los lugares ya que tiene limitaciones en su alcance debido a condiciones técnicas, geográficas y hasta económicas, lo que implica que la audiencia este repartida ante la inmensa oferta del dial.

Podemos decir que la programación de una radio no es una simple sucesión de programas sino que su estructura está formada de productos de comunicación que se unen a través de una planificación, estudio, meditación y orientación. Se pueden encasillar a los programas de las emisoras a nivel local o nacional en:

- Musicales
- Noticiosos
- Educativo-culturales
- Deportivos
- Religiosos
- Infantiles
- De entretenimiento
- Para la familia
- De opinión

- Publicitarios

Se garantiza especialmente a estos medios de comunicación social la libertad de información y de expresión del pensamiento a través de sus propios programas o de espacios contratados por terceras personas, sujetos a la Constitución Política de la República, a la Ley de Radiodifusión y Televisión, demás Leyes de la República y a los respectivos códigos de ética.

### **1.8.6.2 Tarifas de concesión de frecuencias de radiodifusión**

El Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión, aprueba las tarifas por las frecuencias radioeléctricas del servicio de radiodifusión y televisión que deben pagar al Consejo los concesionarios de radiodifusión y televisión; tarifas que somete a consideración del Consejo la Superintendencia de Telecomunicaciones.<sup>10</sup>

La clase de concesión determina la naturaleza de los programas o actividades que la estación está facultada para llevar a cabo, salvo lo dispuesto en la Ley.

#### ***1.8.6.2.1 Valor por frecuencia (valor - \$USD)***

Se presenta de manera simplificada las tarifas de concesión y las tarifas mensuales (valor unitario en dólares) de los diferentes servicios de radiodifusión para AM, OC y FM, de conformidad con lo establecido en los Registros Oficiales N° 224 de 1 de julio de 1999 y N° 66 de 27 de abril de 2000.

<b>Servicio</b>	<b>Concesión</b>	<b>Tarifa mensual</b>
Quito y Guayaquil	1000	25
Capital de provincia	375	3.75
Cabecera Cantonal	250	2.5
Los demás	50	1.25

**Tabla 1.7: Tarifas de concesión para radiodifusión sonora**

<sup>10</sup> Reforma a la Ley de Radiodifusión y Televisión, título III, capítulo VI. Registro Oficial No. 691, 9 de mayo de 1995.

No existen tarifas para los usuarios (público en general) de los servicios de radiodifusión y televisión abierta; mientras que las tarifas para los usuarios (suscriptores) de televisión por suscripción (Televisión por cable, Televisión Codificada Terrestre y Satelital), son precios en libre competencia y no están regulados.

Las tarifas también dependen del tipo de concesión, del número de enlaces y de la banda que se utilice.

#### ***1.8.6.2.2 Tarifas de publicidad y servicios de radiodifusión***

Las estaciones de radiodifusión y televisión, según sus fines, se clasifican en comerciales privadas y de servicio público, en donde las estaciones de servicio público son las destinadas al servicio de la comunidad, sin fines utilitarios, las que no podrán cursar publicidad comercial de ninguna naturaleza; en cambio, las radios comerciales transmiten publicidad de cualquier clase de producto o idea, cuyo fin es promover el consumo de determinado artículo. Este tipo de emisoras persiguen fines de lucro, tiene como base de financiamiento los anuncios publicitarios, que son pagados por los anunciadores con tarifas que se establecen por la duración del mensaje, el horario y el número de veces que se transmitan.

Entre los servicios que se puede contratar en radio está la publicidad a través de este medio como los anuncios y las cuñas, las mismas que tienen diferente valor dependiendo de muchos factores como la banda de difusión AM o FM, el prestigio de la estación, del conductor del programa radial, del horario, del contenido de programación ya sea noticias, deportes, música, etc., la duración y las veces que se emita la cuña o publicidad, así como para campañas publicitarias, políticas o religiosas. Otra forma de obtener ganancia es que la emisora arriende espacio a terceras personas por un periodo de tiempo al día en donde esta persona puede poner la programación que desee y pasar la publicidad que quiera, para ello pagará un monto mensual siempre y cuando lo que haga no atente contra el buen nombre de la estación.

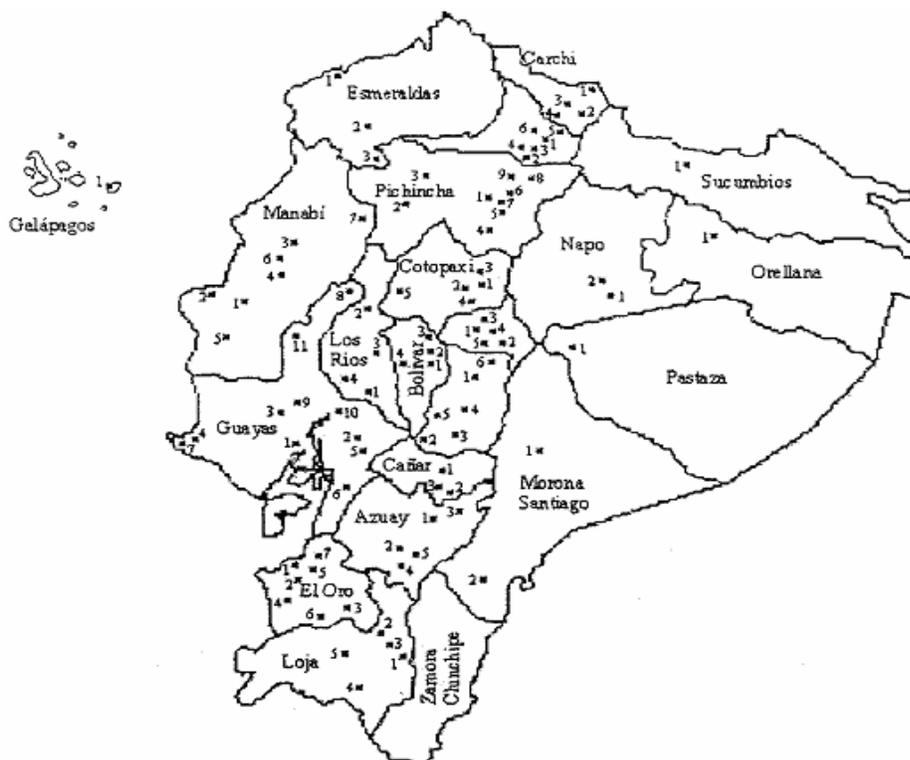
A continuación presentamos las tarifas de 3 emisoras AM en las que se puede distinguir la diferencia de valores en los servicios que brindan:

Estación	Canal	Programa	Derechos diarios	Valor unitario (\$)
La voz del Tomebamba	1070 kHz	Noticias o deportes	Cuña 30"	9.00
		Programación regular	Cuña 30"	3.00
Radio Quito	760 kHz	Noticiero	Presentación, cuña 30", despedida	7.30
			Musical	Cuña 30"
		Revista variada	Cuña 30"	6.80
			Cuña 30" rotativa	6.80
Teleradio	1350 kHz	Noticiero	Cuña 30"	15.00
			Cuña política 30"	30.00
			Cuña 30" rotativa	7.00

**Tabla 1.8: Tarifas de cuñas para radiodifusión sonora en AM**

### 1.8.7 COBERTURA PARA AM EN EL PAÍS

En el siguiente gráfico se aprecia donde existe el servicio de radiodifusión en amplitud modulada tanto en las ciudades como en los alrededores de las mismas.



**Figura 1.23: Cobertura para AM en el Ecuador**

La cobertura es la demarcación geográfica en la cual una estación irradia su señal en los términos y características técnicas contractuales. La propagación de la señal AM permite una amplia cobertura. A continuación se presenta los sitios geográficos de cada provincia donde existen concesiones de AM, de acuerdo al gráfico anterior.

<b>Chimborazo</b>	<b>El Oro</b>	<b>Guayas</b>	<b>Pichincha</b>
1. Riobamba	1. Machala	1. Guayaquil	1. Quito
2. Cumandá	2. Santa Rosa	2. Milagro	2. Santo Domingo de los Colorados
3. Alausí	3. Zaruma	3. Lomas de Sargentillo	3. Pedro Vicente Maldonado
4. Guamote	4. Arenillas	4. Santa Elena	4. Machachi
5. Pallatanga	5. Pasaje	5. Naranjito	5. Sangolquí
6. Penipe	6. Balsas	6. Naranjal	6. Yaruquí
7. Colta	7. El Guabo	7. La Libertad	7. Tumbaco
8. San Guisel		8. El Triunfo	8. Cayambe
9. Mijapamba		9. Daule	9. Tabacundo
		10. Samborondón	
		11. Recinto El Limón	

<b>Azuay</b>	<b>Cotopaxi</b>	<b>Imbabura</b>	<b>Loja</b>	<b>Manabí</b>
1. Cuenca	1. Latacunga	1. Ibarra	1. Loja	1. Portoviejo
2. San Fernando	2. Pujilí	2. Otavalo	2. El Cisne	2. Manta
3. Gualaceo	3. Saquisilí	3. Atuntaqui	3. Catamayo	3. Chone
4. Santa Isabel	4. Salcedo	4. Cotacachi	4. Cariamanga	4. Junin
5. Girón	5. La Maná	5. Pimampiro	5. Catacocha	5. Jipijapa
		6. Urcuquí		6. Calceta
				7. El Carmen

<b>Tungurahua</b>	<b>Los Ríos</b>	<b>Bolívar</b>	<b>Carchi</b>	<b>Esmeraldas</b>
1. Ambato	1. Babahoyo	1. Guaranda	1. Tulcán	1. Esmeraldas
2. Baños	2. Quevedo	2. Guanujo	2. San Gabriel	2. Quinindé
3. Píllaro	3. Ventanas	3. Simiatug	3. El Ángel	3. La Concordia
4. Pelileo	4. Vinces	4. Caluma	4. Mira	
5. Quero	5. El Empalme			

<b>Cañar</b>	<b>Morona Santiago</b>	<b>Napo</b>	<b>Pastaza</b>	<b>Sucumbíos</b>
1. Cañar	1. Macas	1. Tena	1. Puyo	1. Nueva Loja
2. Azogues	2. Gualaquiza	2. Archidona		
3. Biblián				

<b>Fco. de Orellana</b>	<b>Galápagos</b>
1. Joyas del Sacha	1. Puerto Baquerizo Moreno

### 1.8.8 ESTADÍSTICAS DEL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN SEGÚN LA POBLACIÓN

Se pudo observar anteriormente que la existencia del servicio de radiodifusión es mayormente demandado en las regiones de la costa, sierra y oriente; en menor proporción en la región insular. Es más, se pudo notar claramente la saturación del espectro en provincias como Pichincha, Guayas, Manabí, Tungurahua. Es por este motivo que actualmente ya no se concesionan nuevas frecuencias de AM y FM en determinadas provincias. En la Ley de Radiodifusión y Televisión se señala que no se otorgarán nuevas concesiones en la banda de onda media, sino únicamente para estaciones locales a instalarse en poblaciones que actualmente no posean este servicio y que preferentemente estén ubicadas en las áreas rurales, en el Oriente, Galápagos y zonas fronterizas hasta que se realice un reordenamiento de frecuencias; una vez concluido éste, el organismo regulador podrá disponer los canales libres.

Además se suma a esto las recomendaciones internacionales que sugieren una densidad poblacional de mínimo 50000 habitantes por radio, con lo que se concluye que la infraestructura de radiodifusión implementada en el Ecuador es muy alta.

A continuación se presenta un análisis, de acuerdo al VI censo de la población y V de la vivienda realizado en nuestro país en el 2001, de la densidad de habitantes que existe por número de radiodifusoras en nuestras regiones naturales.

Región	Cantidad de radiodifusoras	Población	Densidad
Costa	423	6,056,223	14,317
Sierra	599	5,460,648	9,116
Amazónica	150	1,326,862	8,846
Insular	14	18,640	1,331
<b>Total</b>	<b>1186</b>	<b>12,862,373</b>	<b>10,845</b>

**Tabla 1.9: Densidad de habitantes por número de estaciones de radiodifusión**

## **1.9 INTRODUCCIÓN A LA RADIODIFUSIÓN DIGITAL**

La radiodifusión digital es la tecnología que permite que los servicios de radiodifusión transmitan y recepten el sonido, el cual ha sido procesado utilizando una tecnología comparable a los aparatos reproductores de discos compactos, desde el estudio hasta el receptor en forma digital, 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 calidad de audio es lograda gracias a una técnica muy especial de compresión de sonido adaptada al oído humano. La radio digital consiste en muestrear y codificar la información en un flujo de datos binarios, el cual es transmitido a través de una red de transporte (terrestre, cable, o satélite) hacia un receptor que decodifica y reconstruye la señal original.

Esta tecnología ofrece una mayor robustez frente a condiciones de error, una calidad superior de sonido para los oyentes y una flexibilidad en la calidad y rango del contenido que puede ofrecerse, ya que difiere de la radio tradicional al permitir la emisión de datos simultáneamente con el audio.

Los ruidos, reflexiones, interferencias causadas por estática, desvanecimientos de señal, trayectorias múltiples y todos los defectos que sufre la señal de audio transmitida, se disminuirán en la nueva radio digital.

### **1.9.1 VENTAJAS Y NUEVAS FACILIDADES DE LA RADIO DIGITAL CON RESPECTO A LA RADIO ANALÓGICA**

El estado actual de las nuevas tecnologías ha permitido desarrollar equipos capaces de hacer posible la implementación de redes terrenales de radio digital. Estas redes competirán con el satélite y el cable de forma muy ventajosa, además será una alternativa diferente ya que ofrece una serie de ventajas adicionales que sólo son posibles mediante este sistema.

Con la tecnología 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.

La transmisión con técnicas analógicas sufre problemas de degradación de la señal, que va acumulando ruidos y distorsiones en cada una de las etapas por las que pasa. Con tecnología digital se dispone de una mayor calidad en la información, ya que el sistema es 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 incorporan métodos de corrección de errores para corregir las distorsiones que puedan alterar la información. De esta forma, la información digital es fácilmente transportable y almacenable, utilizando además menos espacio, lo que se traduce a mayor calidad de recepción fija y móvil.

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

La radiodifusión digital facilita la interoperabilidad con las aplicaciones y equipos de telecomunicaciones y la industria informática, lo que permite por ejemplo desplegar servicios interactivos y de información sobre la plataforma de radiodifusión. Esta característica les permite a los receptores actuar como pequeñas computadoras que pueden manipular la información, y esto afecta no sólo al sonido sino a todos los datos que el radiodifusor quiera enviar para dar un servicio de valor agregado. 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.

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

Conocido el panorama de la radiodifusión analógica de audio en las bandas por debajo de los 30 MHz, la migración hacia sistemas digitales básicamente deben superar dos inconvenientes fundamentales, por un lado, deben adecuarse a la canalización existente establecida por el Plan Nacional de Frecuencias, y por otro, deben incrementar la calidad en la transmisión del sonido con el objeto de atraer una mayor audiencia.

Bajo las condiciones antes citadas, las dos corrientes de radio digital que podrían implementarse en estas bandas para establecer sistemas de radiodifusión sonora digital en el país, son los sistemas IBOC o DRM, los cuales se estudiarán detalladamente en el capítulo 2. En el capítulo 3 se proporcionará algunos criterios sobre la migración a estas tecnologías, y en base a comparaciones entre los dos sistemas se establecerá el estándar más apropiado. Posteriormente en el capítulo 4 se sugerirá algunos cambios en la regulación de la radiodifusión sonora en el país.

## **CAPÍTULO 2: ESTUDIO DE LOS ESTÁNDARES DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL POR DEBAJO DE LOS 30 MHZ**

---

### **2.1 IBOC (IN BAND ON-CHANNEL)**

El sistema digital IBOC está diseñado para permitir una suave transición desde la radiodifusión analógica actual hasta una radiodifusión completamente digital. Este sistema entrega audio digital y servicio de datos a receptores móviles, portátiles y fijos desde los transmisores de las estaciones radiodifusoras existentes en Amplitud Modulada (AM) y en Frecuencia Modulada (FM). Los difusores podrán continuar transmitiendo las señales analógicas de AM y FM simultáneamente con las señales digitales IBOC, lo que permite la conversión de la radio analógica a la digital manteniendo las asignaciones de frecuencia actuales.

El sistema acepta audio digital comprimido y utiliza técnicas de procesamiento de señal en banda base como Entrelazado y FEC (corrección de errores hacia adelante), para incrementar la robustez de la señal en el canal de transmisión. Esto permite una señal de audio de alta calidad junto con datos auxiliares para ser transmitidos usando niveles de potencia y segmentos de banda seleccionados, para minimizar la interferencia con las señales analógicas existentes.

La figura 2.1 ilustra los tres subsistemas principales del sistema de radio digital IBOC especificados por iBiquity Digital Corporation<sup>11</sup> y el NRSC-5-A<sup>12</sup>, y como se relacionan entre sí. Los subsistemas principales son:

- Subsistema de Transmisión/RF
- Subsistema de Transporte y del Servicio Multiplexor
- Subsistemas de Entrada de Datos y Audio

---

<sup>11</sup> Es la empresa tecnológica propietaria del sistema de radio digital IBOC. Al sistema IBOC se lo conoce comercialmente como HD Radio.

<sup>12</sup> Estándar desarrollado por el Comité Nacional de Sistemas de Radio de Estados Unidos (NRSC), y está respaldado conjuntamente por el NAB (Asociación Nacional de Difusores) y el CEA (Asociación de Consumidores Electrónicos).

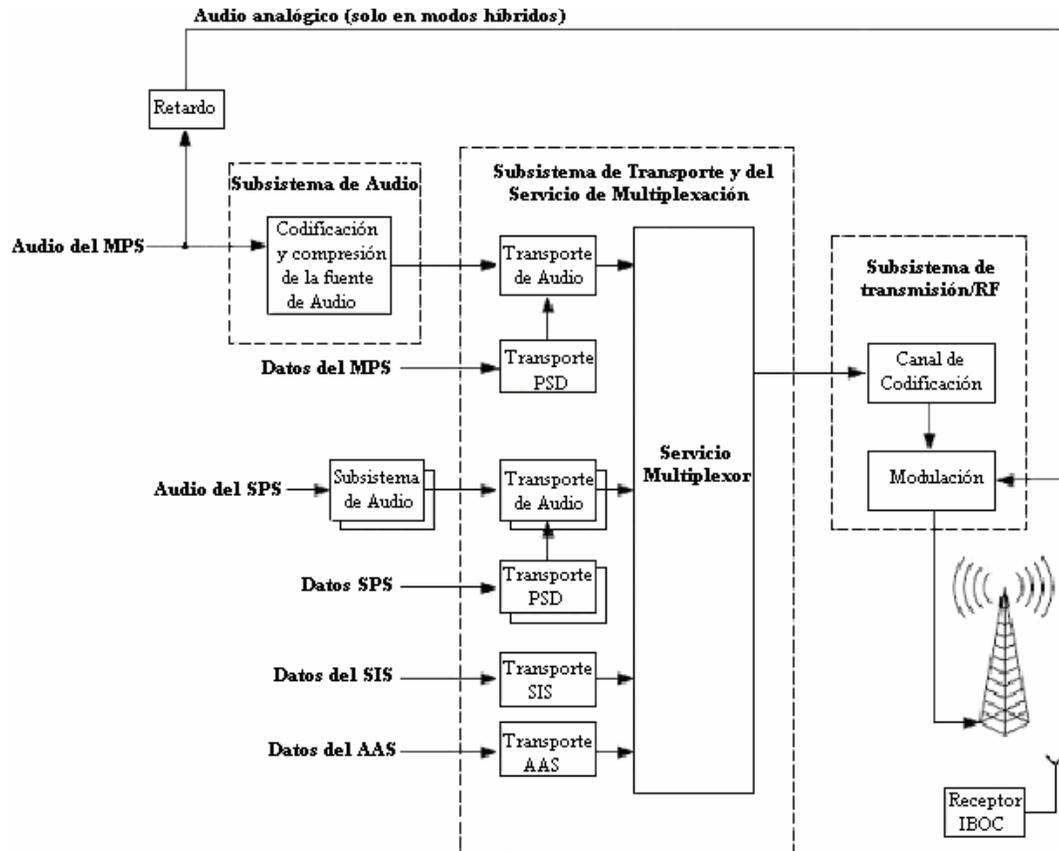


Figura 2.1: Diagrama de bloques del sistema de radio digital IBOC

### 2.1.1 SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN/RF

Este subsistema toma el flujo de bits multiplexados del servicio multiplexor y aplica codificación y entrelazado para que el receptor pueda reconstruir los datos transmitidos, aún cuando la señal recibida no corresponda exactamente a la señal transmitida, debido a la degradación en el canal de transmisión. El flujo de bits codificados y multiplexados se modula en subportadoras OFDM<sup>13</sup> y se traslada en frecuencia a la banda AM o FM.

### 2.1.2 SUBSISTEMA DE TRANSPORTE Y DEL SERVICIO MULTIPLEXOR

Este subsistema provee la información a ser transmitida al subsistema de transmisión/RF. Toma la información de datos y de audio que recibe, la organiza en paquetes, y los multiplexa en un solo flujo de bits. Cada paquete se identifica

<sup>13</sup> Multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM, por sus siglas en inglés).

únicamente como un paquete de datos o como un paquete de audio. Ciertos paquetes de datos se añaden al flujo de paquetes que transportan la información de audio asociada antes de que sean suministrados al multiplexor.

### **2.1.3 SUBSISTEMAS DE ENTRADA DE DATOS Y AUDIO**

#### **2.1.3.1 Entrada de Audio**

La codificación y compresión del audio del Servicio de Programa Principal (MPS, por sus siglas en inglés) y del Servicio de Programa Suplementario (SPS, por sus siglas en inglés), deben ejecutarse antes de que se suministre la información de audio a los subsistemas de transporte de audio. Cada servicio de audio (MPS y SPS individual) tiene su propia codificación de fuente, compresión y subsistema de transporte. La codificación de audio y los sistemas de compresión usarán tecnologías apropiadas (ej., codificación de audio perceptual) para reducir la tasa de bit requerida para describir las señales de audio.

En modos híbridos, el audio analógico también se modula directamente sobre la portadora de RF, para la recepción por parte de los receptores analógicos convencionales. El audio analógico no atraviesa el subsistema de transporte de audio, y se retarda a fin de que llegue al receptor junto con la señal digital.<sup>14</sup> Se habilitará la conmutación automática desde la recepción digital a la analógica, cuando la calidad de la señal recibida no es suficiente para la recepción de audio digital, o cuando se alteran los paquetes en los PDUs<sup>15</sup> del MPS.

#### **2.1.3.2 Entrada de Datos**

Existen dos tipos de entrada de datos. El primer tipo son los datos del servicio de programa, que incluyen una información descriptiva asociada con la programación de audio transmitida. El segundo tipo constituye los datos del servicio de aplicación avanzada.

---

<sup>14</sup> El retardo impuesto sobre el audio analógico se refiere a “retardo por diversidad”,  $T_{dd}$ .

<sup>15</sup> PDU: Packet Data Unit (Unidad de paquetes de datos).

#### ***2.1.3.2.1 Datos del Servicio de Programa***

Existen dos tipos de datos del servicio de programa. El primer tipo son los datos del servicio de programa (PSD, por sus siglas en inglés), el cual se transmite junto con el programa de audio y se utiliza para describir o complementar el programa de audio escuchado por el radio oyente.

El segundo tipo de datos son los datos del servicio de información de estación (SIS, por sus siglas en inglés). Los datos del SIS suministran una información general acerca de la programación de la estación, así como también alguna información técnica útil para aplicaciones de programas no relacionadas.

#### ***2.1.3.2.2 Datos del Servicio de Aplicación Avanzada***

Los servicios de datos avanzados (ADS, por sus siglas en inglés) suministran la habilidad para transmitir información que no puede estar relacionada con el MPS, SIS, o SPS. Estos servicios transportan cualquier forma y contenido que pueden ser expresados como un archivo o flujo de datos, incluyendo servicios de audio. Ejemplos de tales servicios incluyen: (i) efectos visuales asociados con el MPS, SIS, o SPS; (ii) presentaciones multimedia de programas de variedades, noticias, tiempo y entretenimiento, incluyendo audio, texto e imágenes; (iii) almacenamiento local de contenidos para reproducirlos posteriormente; (iv) publicidad; y (v) actualizaciones de tráfico e información para utilizarlos con sistemas de navegación.

### **2.1.4 CARACTERÍSTICAS DEL SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN/RF PARA AM**

El sistema IBOC está diseñado para operar en FM y AM, pero como el propósito del presente trabajo es el estudio de la radiodifusión digital por debajo de los 30 MHz, el sistema se describe únicamente para la banda AM.

La figura 2.2 ilustra como se implementa el subsistema de transmisión/RF para AM y como está relacionado con las otras partes del sistema IBOC.

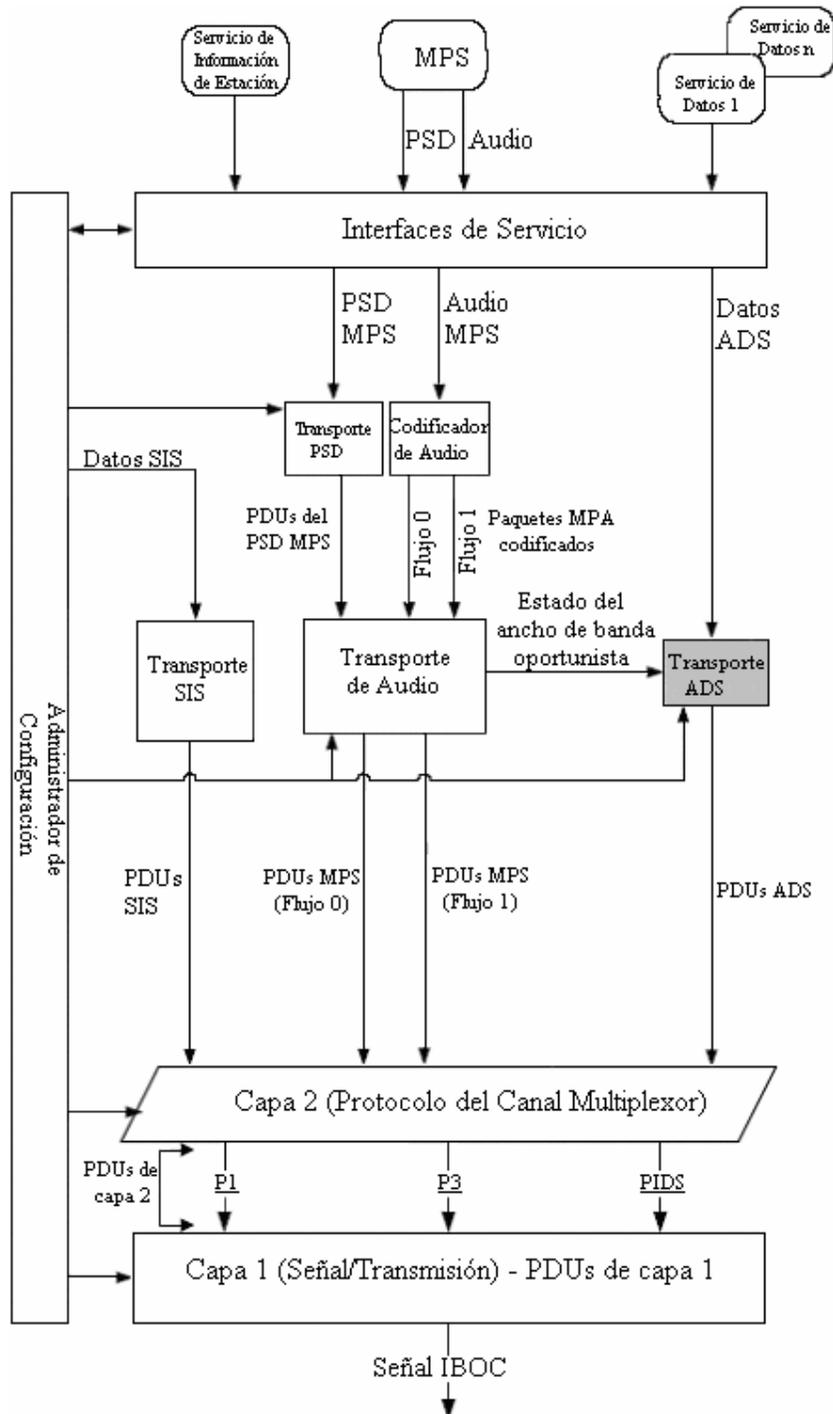
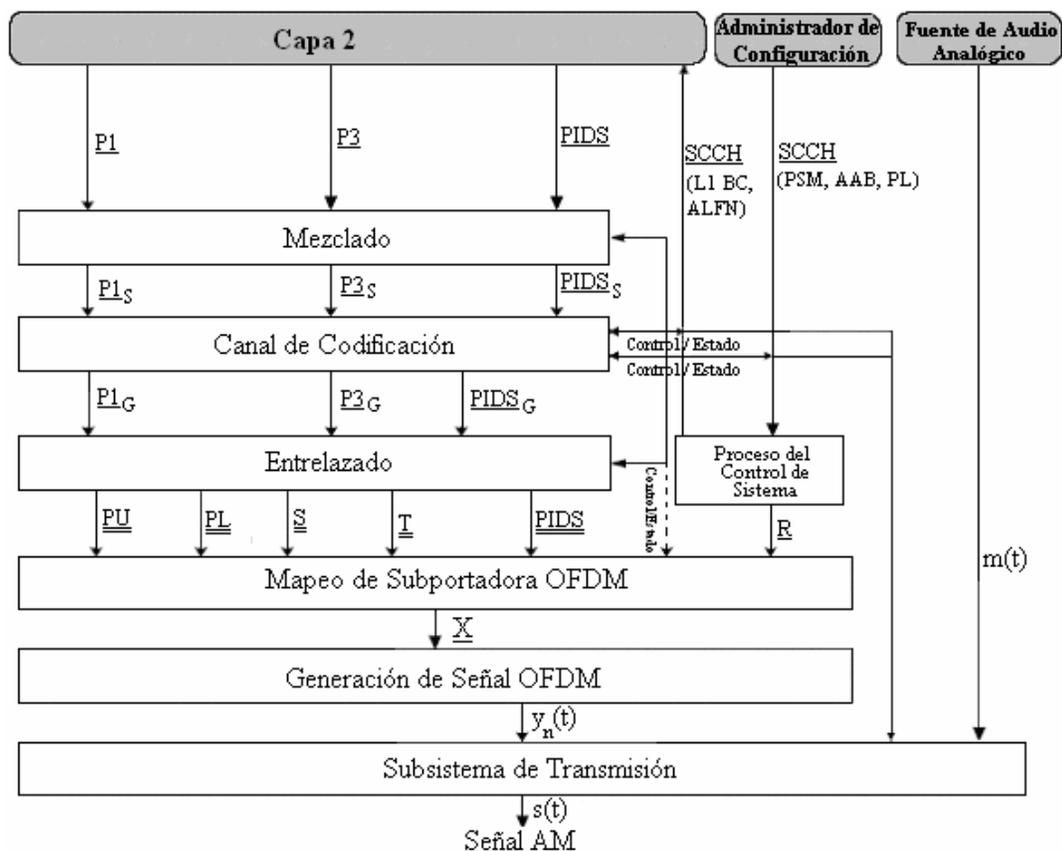


Figura 2.2: Implementación del sistema de radio digital IBOC en la banda AM

### 2.1.4.1 Características de Transmisión

A continuación se presenta una descripción de cada bloque de la capa 1 y el flujo de señal asociado. La figura 2.3 es un diagrama de bloques de la interfaz aire AM. Los datos y audio se comunican desde los protocolos de capas superiores a la capa física, a través de la interfaz entre la capa 2 y la capa 1. Se muestran algunas etapas de procesamiento que se designan por un subíndice de canal lógico. Por ejemplo, las designaciones de canal lógico tienen un subíndice "S" después del scrambling (mezclado), y una "G" después del canal de codificación. El subrayado en los canales lógicos indican que los datos se comunican entre las diversas funciones como vectores. Cada canal lógico tiene un scrambler dedicado y un codificador de canal. El administrador de configuración es una función de sistema que configura cada una de las capas usando información o parámetros SCCH<sup>16</sup> que no cambian a menudo.



**Figura 2.3: Diagrama de bloques de la interfaz aire AM**

<sup>16</sup> SCCH: System Control Channel (Canal del Control de Sistema).

#### 2.1.4.2 Interfaz de capa 1

La interfaz de capa 1 ilustra los puntos de acceso entre el canal multiplexor y la capa 1. La capa 1 del sistema AM convierte la información de la capa 2 y el *control de sistema* del *Administrador de Configuración* en una señal IBOC AM, para la transmisión en la asignación existente en la banda MF. La información y el control se transportan desde el canal multiplexor en *tramas de transferencia* discretas, las cuales son referidas como PDUs de capa 2.

Los PDUs de capa 2 varían en tamaño y formato dependiendo del *modo de servicio*. El modo de servicio, un mayor componente del control de sistema, determina las características de transmisión de cada canal lógico. Después de la evaluación de los requerimientos de las aplicaciones aspirantes, los protocolos de capas superiores seleccionan los modos de servicio que configuran los canales lógicos en una forma más conveniente. Los canales lógicos reflejan la flexibilidad inherente del sistema, que soporta la entrega simultánea de diversas clases de datos y audio digital.

#### 2.1.4.3 Formas de onda y Espectro

El sistema IBOC provee una transición flexible hacia un sistema de difusión digital, por lo que proporciona dos nuevos tipos de forma de onda: *Híbrida* y *Digital*. La señal híbrida retiene la señal AM analógica, mientras que la señal digital no. Estas señales conforman la *máscara de emisión espectral*.

La señal digital se modula usando OFDM, el cuál es un esquema de modulación paralela, en que el flujo de datos modula un gran número de subportadoras ortogonales que son transmitidas simultáneamente. OFDM permite fácilmente el mapeo de los canales lógicos a diferentes grupos de subportadoras.

Cada espectro muestra el número de subportadora y la frecuencia central de ciertas subportadoras OFDM claves. La frecuencia central de una subportadora se calcula multiplicando el número de subportadora por el espaciamiento  $\Delta f$  de

subportadora OFDM. El centro de la subportadora 0 está localizado a 0 Hz. En este contexto, la frecuencia central corresponde al *canal asignado* de radiofrecuencia. Cada espectro se divide en diversas bandas laterales, que representan varios agrupamientos de subportadoras. Todos los espectros se representan en banda base.

#### ***2.1.4.3.1 Forma de onda Híbrida***

En la forma de onda híbrida, la señal digital se transmite en las *bandas laterales primarias y secundarias* ubicadas a ambos lados de la *señal analógica*, así como también en *bandas laterales terciarias* ubicadas por debajo de la señal analógica. El ancho de banda del audio analógico puede ser de 5 kHz o 8 kHz como se muestra en la figura 2.4 y en la figura 2.5. Si se selecciona el ancho de banda de 8 kHz, entonces las bandas laterales secundarias también deberían estar por debajo de la señal analógica.

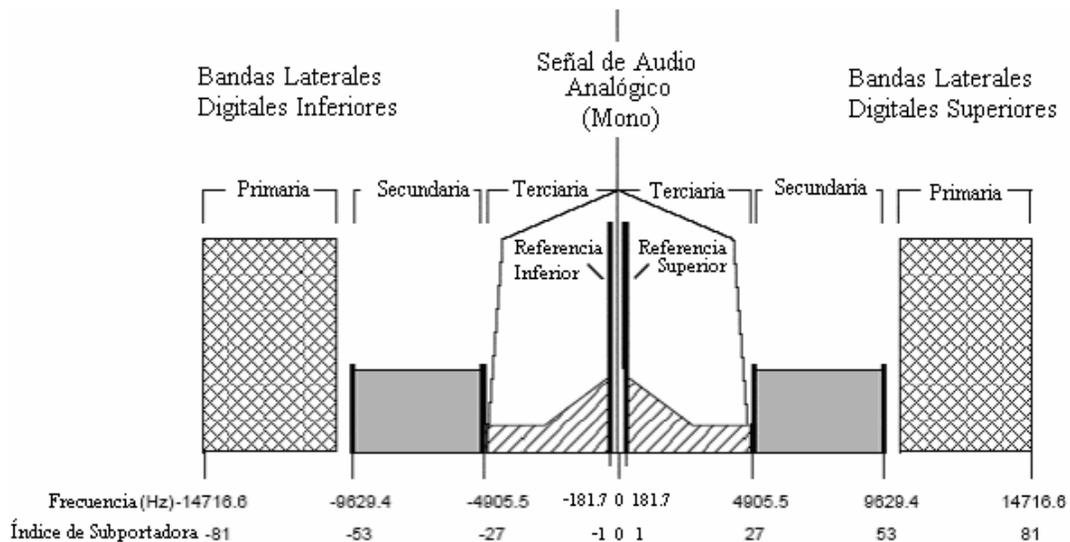
Los niveles de las *subportadoras OFDM* entre cada banda lateral primaria son todos los mismos. Sin embargo, los niveles de las dos bandas laterales primarias se ajustan independientemente. Los niveles de la banda lateral secundaria y terciaria podrían ser fijados en uno de los dos valores seleccionables.

Adicionalmente, la información de estado y de control se transmite en las subportadoras de referencia localizadas a ambos lados de la portadora principal, cuyos valores se fijan a un valor diferente de las bandas laterales. El canal lógico PIDS se transmite en subportadoras individuales, ubicadas por arriba y debajo de los márgenes de frecuencia superior e inferior de las bandas laterales secundarias. La señal analógica es una señal monofónica. El sistema híbrido no soporta transmisiones analógicas en estéreo AM.

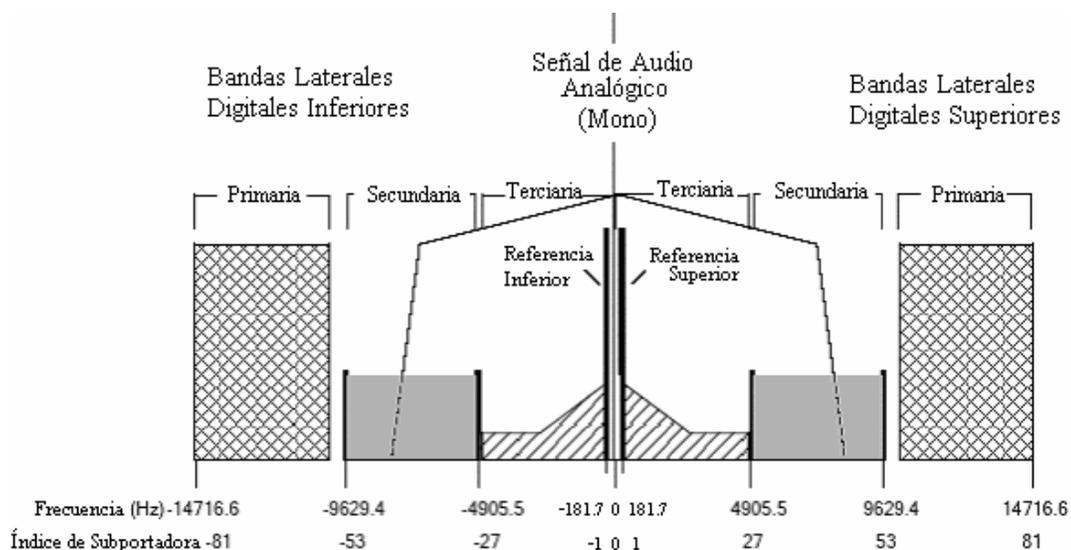
La tabla 2.1 resume las características del espectro de la señal híbrida. Las subportadoras individuales son numeradas desde -81 hasta 81, con la subportadora central en la subportadora número 0. También se enumera los rangos de frecuencia aproximados y los anchos de banda para cada banda

lateral. No se transmiten las subportadoras 54 a 56 y -54 a -56 para prevenir la interferencia con las primeras señales adyacentes.

Los *factores de escala de amplitud* enumerados en la tabla 2.1 y en la tabla 2.2, se refieren a las constantes de multiplicación usadas para escalar a las subportadoras individuales en los niveles apropiados de potencia, con relación a la portadora principal no modulada.



**Figura 2.4: Espectro de la señal híbrida IBOC en AM (Configuración de audio de 5 kHz)**



**Figura 2.5: Espectro de la señal híbrida IBOC en AM (Configuración de audio de 8 kHz)**

Banda lateral	Rango de subportadora	Frecuencia de subportadora (Hz desde el centro del canal) <sup>17</sup>	Factor de escala de amplitud	Comentarios
Primaria superior	57 a 81	10356.1 a 14716.6	CH <sub>p</sub>	Potencia ajustable <sup>18</sup>
Primaria inferior	-57 a -81	-10356.1 a -14716.6	CH <sub>p</sub>	Potencia ajustable <sup>6</sup>
Secundaria superior	28 a 52	5087.2 a 9447.7	CH <sub>S1</sub> o CH <sub>S2</sub>	Ajustable, definido por el control de nivel de potencia
Secundaria inferior	-28 a -52	-5087.2 a -9447.7	CH <sub>S1</sub> o CH <sub>S2</sub>	Ajustable, definido por el control de nivel de potencia
Terciaria superior	2 a 26	363.4 a 4723.8	$\frac{CH_{T1}}{CH_{T2}}$ [0:24]	Cada subportadora en esta banda lateral tiene un único factor de escala.
Terciaria inferior	-2 a -26	-363.4 a -4723.8	$\frac{CH_{T1}}{CH_{T2}}$ [0:24]	Cada subportadora en esta banda lateral tiene un único factor de escala.
Referencia superior	1	181.7	CH <sub>B</sub>	
Referencia inferior	-1	-181.7	CH <sub>B</sub>	
PIDS1	27	4905.5	CH <sub>I1</sub> o CH <sub>I2</sub>	
PIDS2	53	9629.4	CH <sub>I1</sub> o CH <sub>I2</sub>	
PIDS1*	-27	-4905.5	CH <sub>I1</sub> o CH <sub>I2</sub>	* conjugada compleja
PIDS2*	-53	-9629.4	CH <sub>I1</sub> o CH <sub>I2</sub>	* conjugada compleja

**Tabla 2.1: Síntesis del espectro de la señal híbrida en AM**

#### 2.1.4.3.2 Forma de onda Digital

Las mejoras del sistema son realizadas con la forma de onda digital. En esta forma de onda, la señal analógica se reemplaza por las bandas laterales primarias, cuya potencia se incrementa relativamente con los niveles de la señal híbrida. Se conserva la portadora AM no modulada. Adicionalmente, la *banda lateral superior* secundaria se desplaza a altas frecuencias por encima de la banda lateral superior primaria y la *banda lateral inferior* terciaria se desplaza a bajas frecuencias por debajo de la banda lateral inferior primaria. Las bandas laterales inferior secundaria y superior terciaria no se utilizan. Además, se incrementa la potencia de las bandas laterales secundaria y terciaria. El resultado final es una señal digital de alta potencia con una reducción del ancho de banda. Estos cambios proporcionan una señal digital más robusta, menos susceptible a la interferencia por canal adyacente. Las subportadoras de referencia también son

<sup>17</sup> La frecuencia de subportadora es el centro de la subportadora.

<sup>18</sup> La potencia se ajusta en forma descendente desde los valores especificados por la escala de amplitud.

suministradas para transportar la información del control de sistema, y se ubican a ambos lados de la portadora AM no modulada, como en la señal híbrida, pero a un alto nivel. Sus niveles se fijan a un valor diferente al de las bandas laterales.

El espectro de la señal digital se ilustra en la figura 2.6. El nivel de potencia de cada una de las subportadoras OFDM dentro de la banda lateral, se fija con relación a la portadora analógica no modulada. La tabla 2.2 resume las características espectrales de la señal digital.

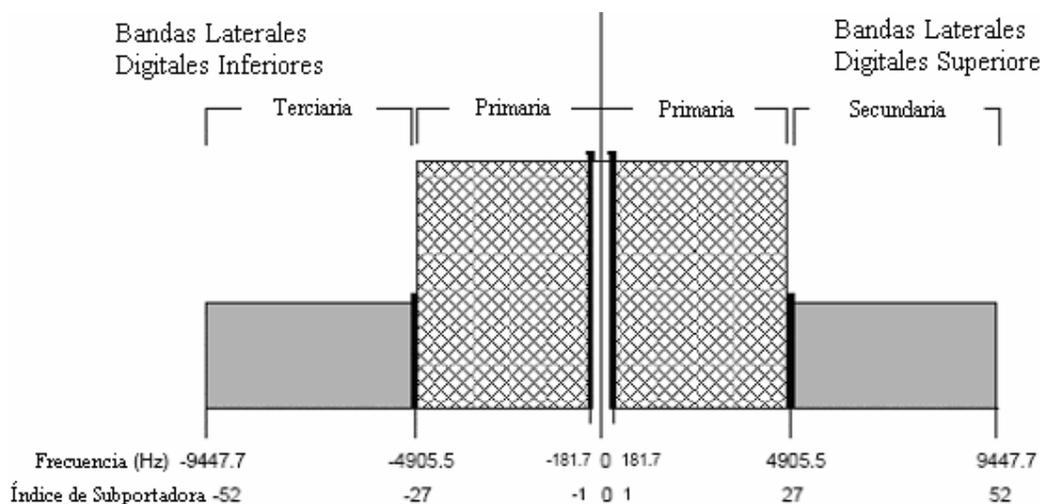


Figura 2.6: Espectro de la señal digital en AM

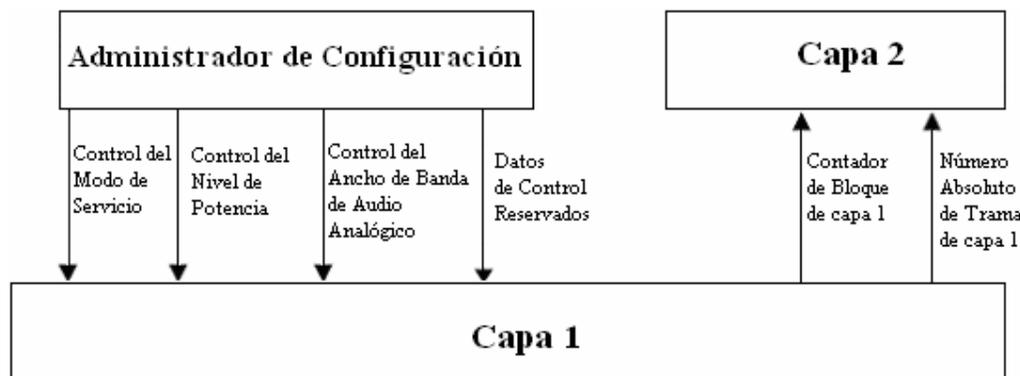
Banda lateral	Rango de subportadora	Frecuencia de subportadora (Hz desde el centro de canal)	Factor de escala
Primaria superior	2 a 26	363.4 a 4723.8	$CD_P$
Primaria inferior	-2 a -26	-363.4 a -4723.8	$CD_P$
Secundaria	28 a 52	5087.2 a 9447.7	$CD_E$
Terciaria	-28 a -52	-5087.2 a -9447.7	$CD_E$
Referencia superior	1	181.7	$CD_B$
Referencia inferior	-1	-181.7	$CD_B$
PIDS1	27	4905.5	$CD_I$
PIDS2	-27	-4905.5	$CD_I$

Tabla 2.2: Síntesis del espectro de la señal digital en AM

#### 2.1.4.4 Canal del control de sistema

El *canal del control de sistema* (SCCH), comunica las tramas de transferencia discretas de información de control y estado entre la capa 2, el administrador de

configuración y la capa 1. La información de control comunicada desde el Administrador de Configuración a la capa 1, consiste de: *control del modo de servicio* (PSM), *control del nivel de potencia* (PL) (solamente para señales híbridas), y *control del ancho de banda de audio analógico* (AAB) (solamente para señales híbridas). Adicionalmente, varios bits de la secuencia de datos del control de sistema designados como “reservados”, son controlados por el Administrador de Configuración. La información de estado comunicada desde la capa 1 a la capa 2 consiste de: *número absoluto de trama de capa 1* (ALFN) y *contador de bloque de capa 1* (BC). El contador de bloque y los indicadores de la información de control, se transmiten en las subportadoras de referencia.



**Figura 2.7: Canal del control de sistema**

La administración y la tasa de transferencia entre la capa 2, el Administrador de Configuración y la capa 1 se muestran en la tabla 2.3.

Datos	Administración	Tasa de la trama de transferencia
Control del modo de servicio (PSM)	Administrador de Configuración ⇒ Capa 1	Rf
Control del nivel de potencia (PL)	Administrador de Configuración ⇒ Capa 1	Rf
Control del ancho de banda de audio analógico (AAB)	Administrador de Configuración ⇒ Capa 1	Rf
Datos de control reservados	Administrador de Configuración ⇒ Capa 1	Rf
Contador de bloque de capa 1 (BC)	Capa 1 ⇒ Capa 2	Rb
Número absoluto de trama de capa 1 (ALFN)	Capa 1 ⇒ Capa 2	Rf

**Tabla 2.3: Transferencia a través del SCCH**

### 2.1.4.5 Canales lógicos

El concepto de canales lógicos y su función es primordial para el transporte y la transmisión de datos a través del sistema IBOC. Un canal lógico es un trayecto de señal que conduce PDUs de capa 2 en tramas de transferencia a la capa 1, con un grado específico de servicio, determinado por el modo de servicio (señal híbrida o digital). La capa 1 provee tres canales lógicos a los protocolos de capas superiores: P1, P3, y PIDS. P1 y P3 son diseñados con el propósito de transferir audio y datos, mientras PIDS está diseñado para transportar los datos del Servicio de Información de Estación (SIS). El canal lógico P1 es más robusto que el canal lógico P3, por lo que una transferencia de información puede ser acomodada para conformar diversas aplicaciones.

Las velocidades de información aproximadas de los tres canales lógicos para cada modo de servicio se muestran en la tabla 2.4.

Modo de servicio	Velocidad aproximada de información de canal (kbps)			Señal
	P1	P3	PIDS	
MA1	20	16	0.4	Híbrida
MA3	20	20	0.4	Digital

**Tabla 2.4: Velocidad de información aproximada de los canales lógicos en AM**

El funcionamiento de cada canal lógico se describe completamente a través de tres parámetros de caracterización: transferencia, latencia, y robustez. El canal de codificación, mapeo espectral, profundidad de entrelazado, y el retardo por diversidad son los componentes de estos parámetros de caracterización. El modo de servicio únicamente configura estos componentes por cada canal lógico activo, por tanto se permite la asignación de parámetros de caracterización apropiados.

#### 2.1.4.5.1 Transferencia

La transferencia es el rendimiento de un canal lógico. Las operaciones de la capa 1 requieren que los datos se procesen preferiblemente en tramas de transferencia

discretas que en flujos continuos. Como resultado, el rendimiento está definido en términos del *tamaño de trama de transferencia* (en bits) y de la *tasa de trama de transferencia* (en Hz).

Cada trama de transferencia se identifica únicamente por su *número de trama de transferencia*  $F_{m1:m2}^n$ , donde n es el ALFN, y m1:m2 es el rango del BC que designa la posición de la trama de transferencia dentro de la trama de capa 1. En casos donde una trama de transferencia se divide y retarda, el resultado se transmite en dos diferentes ALFNs, el índice n señala la primera instancia de transmisión. El número de trama de transferencia no se transmite como parte de la señal IBOC.

Las tramas de transferencia se conducen a la capa 1 a una de las dos tasas:

- Tasa de trama de capa 1,  $R_f = \frac{1}{T_f}$
- Tasa de bloque de capa 1,  $R_b = \frac{1}{T_b} = 8 \cdot R_f$

El mapeo espectral y la tasa del canal de codificación determinan la transferencia de un canal lógico. La profundidad de entrelazado también es un factor, porque las tramas de transferencia se conducen a través de la capa 1 a tasas correspondientes a la profundidad de entrelazado de su canal lógico.

#### **2.1.4.5.2 Latencia**

La latencia es el retardo que un canal lógico impone en una trama de transferencia cuando recorre la capa 1. La latencia de un canal lógico está definida como la suma de su profundidad de entrelazado y del retardo por diversidad. Esto no incluye retardos de procesamiento en la capa 1 ni retardos impuestos en capas superiores.

La profundidad de entrelazado determina la cantidad de retardo impuesto en un canal lógico por un entrelazador. El sistema IBOC para AM emplea dos

profundidades de entrelazado: bloque de capa 1 y trama de capa 1. El retardo por diversidad  $T_{dd}$ , también se emplea en algunos canales lógicos, por ejemplo, P1 en el modo de servicio MA1.

Las capas superiores asignan información a los canales lógicos con el requisito de latencia a través de la selección de un modo de servicio. Se especifican tres latencias para el sistema, como se define en la tabla 2.5.

Descripción	Retardo
Bloque de capa 1	$T_b$
Trama de capa 1	$T_f$
Trama de capa 1 más retardo por diversidad	$T_f + T_{dd}$

**Tabla 2.5: Síntesis de latencia**

### 2.1.4.5.3 Robustez

La robustez es la habilidad de un canal lógico para resistir los deterioros del canal de transmisión, como el ruido e interferencia. Existen ocho niveles de robustez designados en la capa 1. Una robustez de 1 indica un muy alto nivel de resistencia a los deterioros del canal, mientras que una robustez de 8 indica una baja tolerancia en el canal. Las capas superiores deben determinar la robustez requerida de un canal lógico antes de seleccionar un modo de servicio.

El mapeo espectral, la tasa del canal de codificación, la profundidad de entrelazado, y el retardo por diversidad determinan la robustez de un canal lógico. El mapeo espectral afecta la robustez fijando el nivel de potencia, la protección de interferencia espectral, y la diversidad de frecuencia de un canal lógico. El canal de codificación incrementa la robustez introduciendo redundancia en el canal lógico. La profundidad de entrelazado afecta el desempeño en *desvanecimiento*, por consiguiente afecta la robustez del canal lógico. Finalmente, algunos canales lógicos en ciertos modos de servicio retardan las tramas de transferencia por una duración constante para realizar diversidad de tiempo.

La tabla 2.6 y la tabla 2.7 muestran los parámetros de caracterización de cada canal lógico para cada modo de servicio.

Canal lógico	Transferencia			Robustez relativa
	Tamaño de trama (Bits)	Tasa de trama (Hz)	Latencia(s) de capa 1	
P1	3750	Rb	Tf + Tdd	5
P3	24000	Rf	Tf	6 (PL=Alto) o 8 (PL=Bajo)
PIDS	80	Rb	Tb	3 (PL=Alto) o 7 (PL=Bajo)

**Tabla 2.6: Caracterización de canal lógico – Modo de servicio MA1**

Canal lógico	Transferencia			Robustez relativa
	Tamaño de trama (Bits)	Tasa de trama (Hz)	Latencia(s) de capa 1	
P1	3750	Rb	Tf + Tdd	1
P3	30000	Rf	Tf + Tdd	4
PIDS	80	Rb	Tb	2

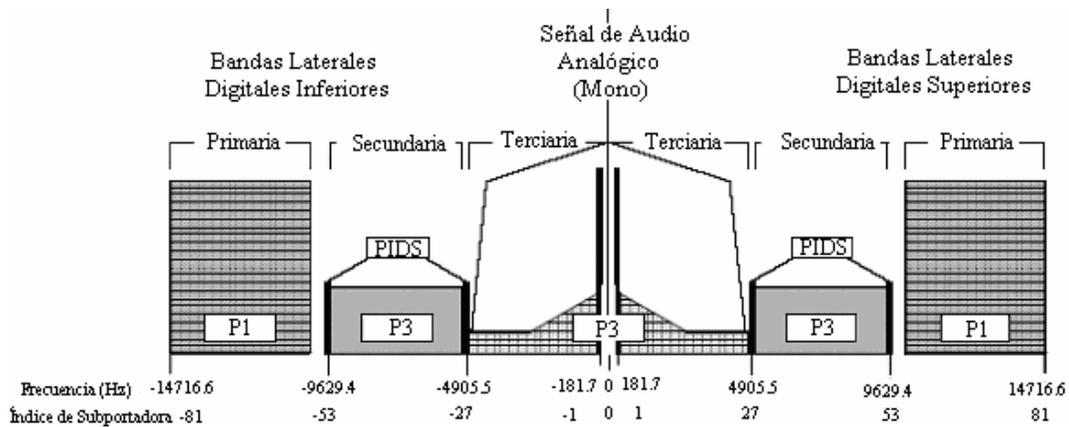
**Tabla 2.7: Caracterización de canal lógico – Modo de servicio MA3**

El rendimiento de información de un canal lógico puede calcularse usando las tablas anteriores y la siguiente relación:

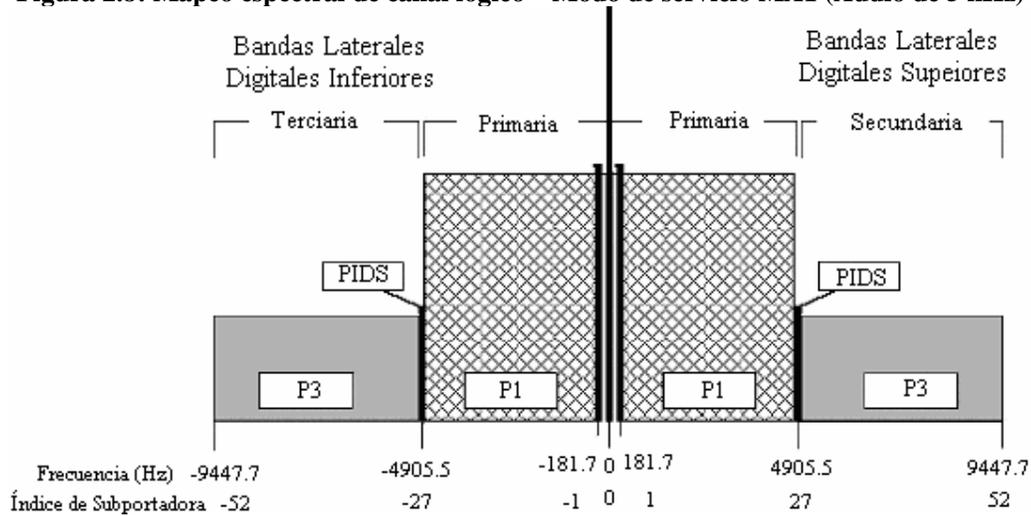
Rendimiento (bps) = tamaño de trama de transferencia (bits) · tasa de trama de transferencia (Hz)

#### **2.1.4.5.4 Mapeo espectral**

Para un modo de servicio dado, cada canal lógico se aplica a una frecuencia de banda lateral. La figura 2.8 y la figura 2.9 muestran el mapeo espectral de cada canal lógico para cada modo de servicio. En estas figuras, las frecuencias mostradas representan offsets desde la frecuencia central del canal.



**Figura 2.8: Mapeo espectral de canal lógico – Modo de servicio MA1 (Audio de 5 kHz)**



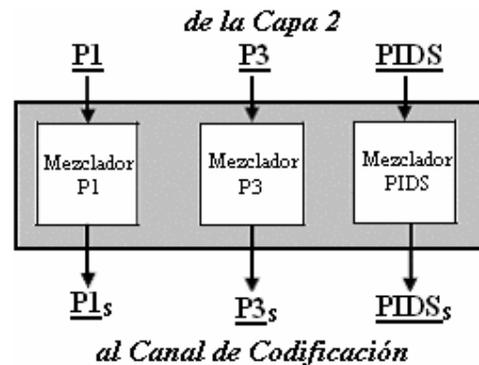
**Figura 2.9: Mapeo espectral de canal lógico – Modo de servicio MA3**

#### 2.1.4.5 Framing y sincronización

Los canales lógicos comparten una referencia común de tiempo absoluto, a fin de que todas las tramas de transferencia estén precisamente alineadas. Cada trama de transferencia se asigna a un número de trama de transferencia único  $F_{m1m2}^n$ .

#### 2.1.4.6 Scrambling (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. A la salida del scrambling, los vectores del canal lógico retienen su identidad pero se distinguen por un subíndice "S" (por ejemplo, "P1<sub>S</sub>"). Como se muestra en la figura 2.10, existen tres mezcladores paralelos, uno por cada canal lógico.

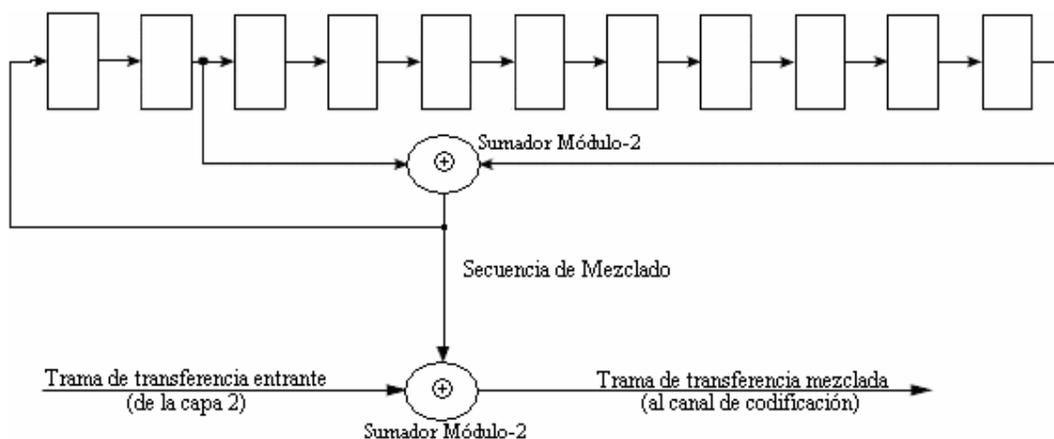


**Figura 2.10: Diagrama de bloques del Mezclado**

Las entradas a los mezcladores son los canales lógicos activos de capa 2, seleccionados por el control del modo de servicio. Estas entradas se entregan en tramas de transferencia discretas. Las salidas de los mezcladores son tramas de transferencia de bits mezclados por cada uno de los canales lógicos activos. Luego estas tramas de transferencia se comunican al proceso del canal de codificación para una corrección de errores FEC.

#### 2.1.4.6.1 Operación del mezclador

Todos los mezcladores paralelos son idénticos pero operan a velocidades diferentes, dependiendo del modo de servicio activo. En la figura 2.11 se muestra un diagrama de bloques detallado del mezclador. Cada mezclador genera una secuencia de mezclado (código pseudo aleatorio) de longitud máxima, usando un registro de desplazamiento con retroalimentación lineal (generador de código) con un polinomio primitivo  $P(x) = 1 \oplus x^2 \oplus x^{11}$ .



### Figura 2.11: Diagrama de bloques de un mezclador

Para cada canal lógico, el mezclador se restaura al estado 0111 1111 1111 (secuencia de mezclado) sobre la recepción de una nueva trama de transferencia. El primer bit de una trama de transferencia mezclada se genera por un sumador módulo-2, sumando el primer bit de la trama de transferencia entrante con el correspondiente bit de la secuencia de mezclado. El proceso continúa hasta que se mezcla el último bit de la trama de transferencia.

#### 2.1.4.7 Canal de Codificación

El canal de codificación mejora el desempeño del sistema incrementando la robustez de la señal. Se utiliza una *codificación convolucional* como se muestra en la figura 2.12, para agregar redundancia a los datos digitales en cada canal lógico, a fin de mejorar su confiabilidad en presencia de deterioros en el canal de transmisión. El tamaño de los vectores de canal lógico se incrementa en proporción inversa a la *tasa de código*. Las técnicas de codificación se configuran por el modo de servicio. A la salida del codificador de canal, los vectores retienen su identidad, pero se distinguen por un subíndice "G" (por ejemplo, "P1<sub>G</sub>").

El proceso de codificación se caracteriza por la codificación convolucional perforada (punctured)<sup>19</sup>, que se aplica a cada canal lógico para la corrección de errores. Se utilizan diferentes polinomios de codificación y varias matrices perforadas. Los canales lógicos tienen distintas tasas de codificación.

---

<sup>19</sup> Es un nuevo nivel de codificación donde se evita añadir demasiada redundancia, y es aplicado sobre el código madre.

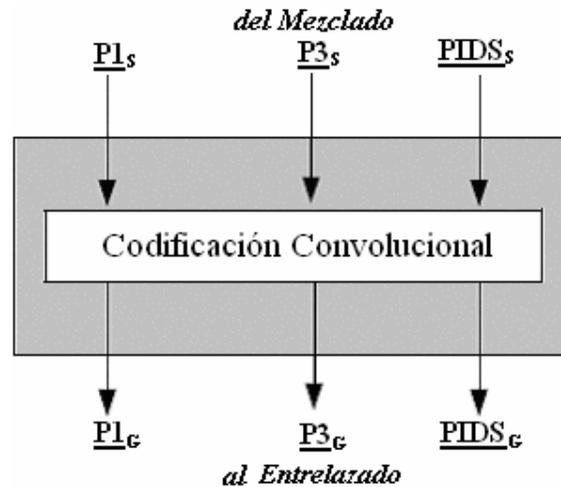


Figura 2.12: Diagrama de bloques del canal de codificación

Las entradas al proceso del canal de codificación son tramas de transferencia de bits mezclados, transportados a través de canales lógicos activos. Las salidas del canal de codificación son tramas de transferencia de bits codificados, asociados con cada uno de los canales lógicos activos y se comunican al entrelazador.

#### 2.1.4.7.1 Codificación convolutiva

La codificación convolutiva consiste en tres operaciones primarias: generación de *código madre*, *perforación*, y *conversión paralelo a serie*. Cada una de estas operaciones se describe a continuación.

##### 2.1.4.7.1.1 Generación de código madre

Los codificadores convolutivos asociados con cada canal lógico, emplean determinados polinomios generadores para formar una tasa de 1/3 de código madre. Cada codificador convolutivo produce 3 bits codificados  $g_{h,i}$  por cada bit entrante  $s_i$ ,  $i = 0, 1, \dots, N-1$ , creando una matriz  $\underline{G}$  de códigos de dimensión  $3 \times N$ :

$$\underline{G} = \begin{bmatrix} g_{1,0} & g_{1,1} & \cdots & g_{1,N-1} \\ g_{2,0} & g_{2,1} & \cdots & g_{2,N-1} \\ g_{3,0} & g_{3,1} & \cdots & g_{3,N-1} \end{bmatrix}$$

Donde  $N$  es la longitud de  $\underline{S}$ , y  $h = 1, 2, 3$  cataloga los bits codificados para un bit dado de información de entrada. Cada columna de  $\underline{G}$  representa la salida codificada para un bit de entrada dado.

#### 2.1.4.7.1.2 Perforación

La mayoría de los modos de servicio requieren perforar los códigos madre para producir una tasa de código ligeramente elevada, en consecuencia se permite una tasa de información mayor a través del mismo ancho de banda físico. La matriz codificada  $\underline{G}$  se perfora sobre un periodo de perforación  $P$ . Por cada  $P$  bits codificados no se transmiten ciertos bits  $g_{h,i}$ . Una matriz perforada extiende los bits codificados sobre un periodo de perforación, que define cuales bits codificados son transmitidos. Se forma un patrón de perforación repitiendo la matriz perforada sobre todos los bits de información en la trama de transferencia.

#### 2.1.4.7.1.3 Conversión paralelo-serie

Después de que los bits de código madre se perforan apropiadamente, el conversor paralelo-serie los multiplexa concatenando las columnas de  $\underline{G}$  dentro de un simple vector  $\underline{G}$ . Los bits codificados se transmiten en orden de columnas de la matriz  $\underline{G}$ .

#### 2.1.4.7.1.4 Codificadores convolucionales

La tabla 2.8 presenta las tres tasas de codificación usadas en AM, junto con sus correspondientes matrices perforadas. Los últimos 8 bits de una trama de transferencia, se usan para iniciar los elementos de retardo del correspondiente codificador convolucional para esa trama de transferencia.

Codificador	Tasa de código perforado	Matriz perforada	Tasa de código madre
E1	5/12	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	1/3

E2	2/3	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$	1/3
E3	1/3	$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$	1/3

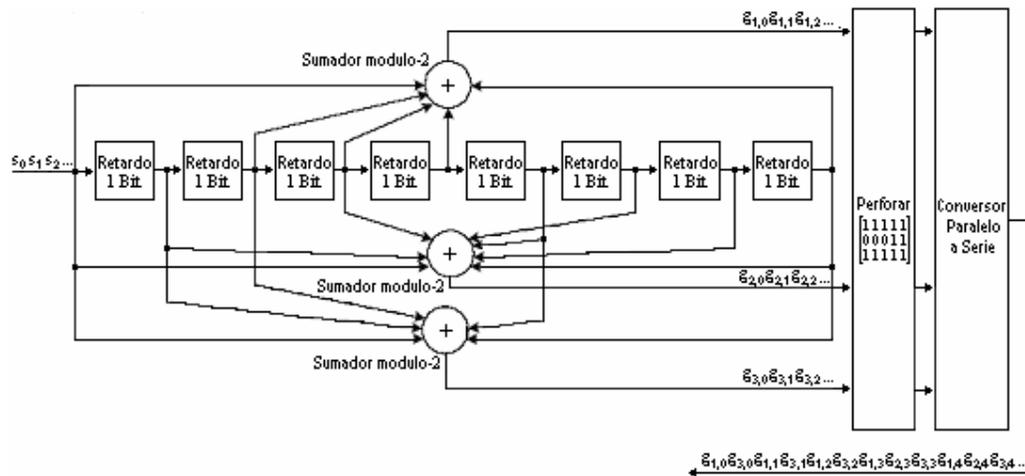
**Tabla 2.8: Códigos convolucionales en AM**

*Codificador convolucional E1*

El codificador E1, ilustrado en la figura 2.13, utiliza una longitud de restricción de 9, una tasa de código madre de 1/3 perforado a una tasa de 5/12. El polinomio generador utilizado se representa en formato octal y se muestra en la tabla 2.9.

Primer generador	Segundo generador	Tercer generador
561	657	711

**Tabla 2.9: Polinomios generadores del codificador convolucional E1**



**Figura 2.13: Codificador convolucional E1**

*Codificador convolucional E2*

El codificador convolucional E2, ilustrado en la figura 2.14, utiliza una longitud de restricción de 9, una tasa de código madre de 1/3 perforado a una tasa de 2/3. El polinomio generador utilizado se representa en la tabla 2.10. Este código se representa en formato octal.



diversidad (de tiempo) también se impone en los canales lógicos seleccionados, y es un valor constante. Como se muestra en la figura 2.15, el entrelazado para AM se caracteriza por cuatro operaciones: *generación de subtrama*, *retardo por diversidad*, *alineación de tiempo de transmisión*, y *mapeo de bit*.

La generación de subtrama es el proceso de acumulación de bits de cada trama de transferencia de entrada activa, y se divide en múltiples subtramas como paso inicial en la asignación de datos para las diversas matrices de entrelazado.

El retardo por diversidad retarda a un selecto grupo de subtramas, con el propósito de agregar diversidad de tiempo adicional más allá del suministrado por las matrices de entrelazado. La alineación de tiempo de transmisión,  $T_{T1a}$ , está asociada con el canal lógico P1 y permite una mayor flexibilidad en la transferencia de datos. Esta alineación se ajusta para proveer un retardo entre los flujos principales (M) y de respaldo (B) para conseguir un  $T_{dd}$  preciso.

El mapeo de bit acepta los vectores de subtramas y asigna cada bit de subtrama en una ubicación única en una matriz de entrelazado. Esta ubicación incluye una fila, una columna y una posición de bit dentro del elemento de la matriz. Las matrices resultantes se comunican al mapeo de subportadora OFDM.

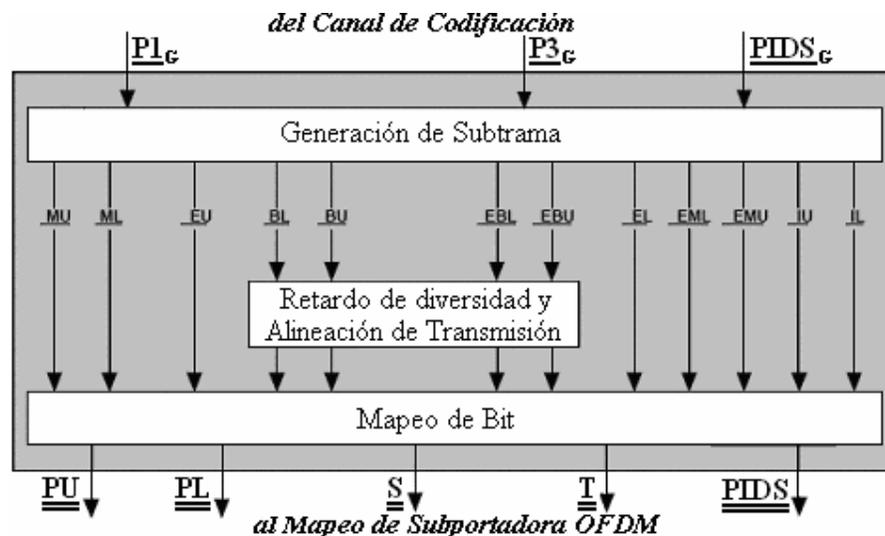


Figura 2.15: Diagrama de bloques del entrelazado

Las tablas 2.11 y 2.12 definen el tamaño y la tasa de las tramas de transferencia en cada canal lógico activo, junto con la matriz de entrelazado y el número de tramas requeridas para llenar dicha matriz. La tabla 2.13 resume el proceso de los canales lógicos en el entrelazador.

Trama de transferencia	Tamaño de la trama de transferencia (bits)	Tasa de la trama de transferencia de entrada (Hz)	Matrices de entrelazado de destino	Tramas de transferencia por matriz
<u>P1<sub>G</sub></u>	9000	Rb	<u>PU, PL</u>	8
<u>P3<sub>G</sub></u>	36000	Rf	<u>S, T</u>	1
<u>PIDS<sub>G</sub></u>	240	Rb	<u>PIDS</u>	1

**Tabla 2.11: Características de la trama de transferencia – Modo de servicio MA1**

Trama de transferencia	Tamaño de la trama de transferencia (bits)	Tasa de la trama de transferencia de entrada (Hz)	Matrices de entrelazado de destino	Tramas de transferencia por matriz
<u>P1<sub>G</sub></u>	9000	Rb	<u>PU, PL</u>	8
<u>P3<sub>G</sub></u>	72000	Rf	<u>S, T</u>	1
<u>PIDS<sub>G</sub></u>	240	Rb	<u>PIDS</u>	1

**Tabla 2.12: Características de la trama de transferencia – Modo de servicio MA3**

Canal lógico	Modo	Subtrama	Retardo	Profundidad de entrelazado	Matriz de entrelazado
P1	MA1, MA3	<u>BL</u>	$T_{dd} + T_{T1a}$	Bloque	<u>PL</u>
		<u>ML</u>	0	Trama	
		<u>BU</u>	$T_{dd} + T_{T1a}$	Bloque	<u>PU</u>
		<u>MU</u>	0	Trama	
P3	MA1	<u>EL</u>	0	Trama	<u>T</u>
		<u>EU</u>	0	Trama	<u>S</u>
	MA3	<u>EBL</u>	$T_{dd}$	Trama	<u>T</u>
		<u>EML</u>	0	Trama	
		<u>EBU</u>	$T_{dd}$	Trama	<u>S</u>
		<u>EMU</u>	0	Trama	
PIDS	MA1, MA3	<u>IL</u>	0	Bloque	<u>PIDS</u>
		<u>IU</u>	0	Bloque	

**Tabla 2.13: Síntesis del proceso del canal lógico en el entrelazador**

#### 2.1.4.8.1 Matrices de entrelazado

Una matriz de entrelazado se usa para reordenar y agrupar los bits de subtrama. El entrelazado permite que los bits codificados individuales sean dirigidos a

específicos *bloques de entrelazado* dentro de la matriz. Un bloque de entrelazado puede ser visto como un entrelazador independiente más pequeño.

En general, una matriz de entrelazado tiene 256 filas y un bloque de entrelazado tiene 32 filas. De esta manera, hay ocho bloques por matriz. El número de columnas en una matriz de entrelazado depende de la matriz específica. En AM se utiliza cinco matrices diferentes; PU, PL, S, T y PIDS. Cada una de las matrices tienen 25 columnas, excepto la matriz PIDS, que solo tiene dos. Adicionalmente, el número de bits en cada elemento de una matriz de entrelazado depende no solo de la matriz sino también del modo de servicio. El número de bits por elemento para cada matriz se muestra en la tabla 2.14.

Modo de servicio	Matriz de entrelazado				
	<u>PU</u>	<u>PL</u>	<u>S</u>	<u>T</u>	<u>PIDS</u>
MA1	6	6	4	2	4
MA3	6	6	6	6	4

**Tabla 2.14: Número de bits por elemento de matriz de entrelazado**

Los detalles de cómo se desarrolla el proceso de entrelazado mediante las operaciones de generación de subtrama y mapeo de bit, y cómo las matrices de entrelazado son llenadas con los bits codificados, se describen en el Anexo 1.

#### **2.1.4.9 Procesamiento del Control de Sistema**

El procesamiento del control de sistema recibe la información del control de sistema del administrador de configuración. Estos datos se combinan con sincronización, paridad y bits reservados dentro de la capa 1, para crear *secuencias de datos del control de sistema*. Las secuencias de bits resultantes se destinan para las dos subportadoras de referencia localizadas a ambos lados de la portadora analógica.

##### **2.1.4.9.1 Ensamblador de la secuencia de datos del control de sistema**

Este ensamblador recolecta información del administrador de configuración y crea un vector columna  $\underline{R}$  de dimensión constante. El número de elementos de  $\underline{R}$  corresponde al número de símbolos OFDM por trama. El vector  $\underline{R}$  está comprendido por 8 secuencias de 32 bits, una por cada bloque, tiene la tasa de trama  $R_f$ . Cada una de las ocho secuencias de datos está comprendida por campos de bits que representan varios componentes del control de sistema. La secuencia de datos se describe en la figura 2.16 y se define en la tabla 2.15.

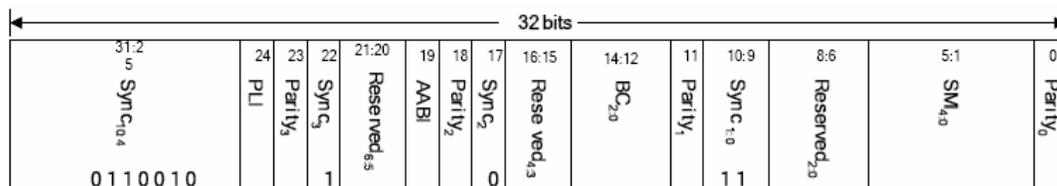


Figura 2.16: Secuencia de datos del control de sistema

Campo	Ubicación de Bit	Longitud de Bit	Descripción
Sync <sub>10:4</sub>	31:25	7	Sincronización <sub>10:4</sub> = 0110010
Indicador de nivel de potencia (PLI)	24	1	0 = subportadoras híbridas escaladas por CH <sub>S1</sub> , CH <sub>I1</sub> , y CH <sub>T1</sub> 1 = subportadoras híbridas escaladas por CH <sub>S2</sub> , CH <sub>I2</sub> , y CH <sub>T2</sub>
Paridad <sub>3</sub>	23	1	Paridad para PLI
Sync <sub>3</sub>	22	1	Sincronización <sub>3</sub> = 1
Reservado <sub>6:5</sub>	21	2	Para una futura expansión
Indicador de ancho de banda de audio analógico (AABI)	19	1	0 = 5 kHz 1 = 8 kHz
Paridad <sub>2</sub>	18	1	Paridad para Reservado <sub>6:5</sub> y AABI
Sync <sub>2</sub>	17	1	Sincronización <sub>2</sub> = 0
Reservado <sub>4:3</sub>	16:15	2	Para una futura expansión
Contador de bloque (BC <sub>2:0</sub> )	14:12	3	Contador módulo-8 que se incrementa cada 32 símbolos OFDM
Paridad <sub>1</sub>	11	1	Paridad para Reservado <sub>4:3</sub> y contador de bloque
Sync <sub>1:0</sub>	10:9	2	Sincronización <sub>1:0</sub> = 11
Reservado <sub>2:0</sub>	8:6	3	Para una futura expansión
Indicador de modo de servicio (SMI <sub>4:0</sub> )	5:1	5	Identifica el modo de servicio seleccionado
Paridad <sub>0</sub>	0	1	Paridad para Reservado <sub>2:0</sub> y SMI

Tabla 2.15: Asignación de bits de la secuencia de datos del control de sistema

A continuación se describe cada uno de los campos.

#### *Sincronización de bloque*

Los bits de sincronización de bloque (sync) sirven para ayudar en la sincronización del receptor.

#### *Indicador del nivel de potencia (PLI)*

Es una bandera de un bit que indica el nivel nominal de las bandas laterales secundarias, PIDS, y terciarias (con relación a la portadora analógica) cuando transmiten una señal híbrida. Si la bandera es 0 lógico, las subportadoras híbridas se escalan por  $CH_{S1}$ ,  $CH_{I1}$ , y  $CH_{T1}$  para incrementar la cobertura digital; si la bandera es 1 lógico, las subportadoras híbridas se escalan por  $CH_{S2}$ ,  $CH_{I2}$ , y  $CH_{T2}$  para reducir la interferencia. La bandera PLI es siempre 0 cuando se transmite la señal digital.

#### *Indicador del ancho de banda de audio analógico (AABI)*

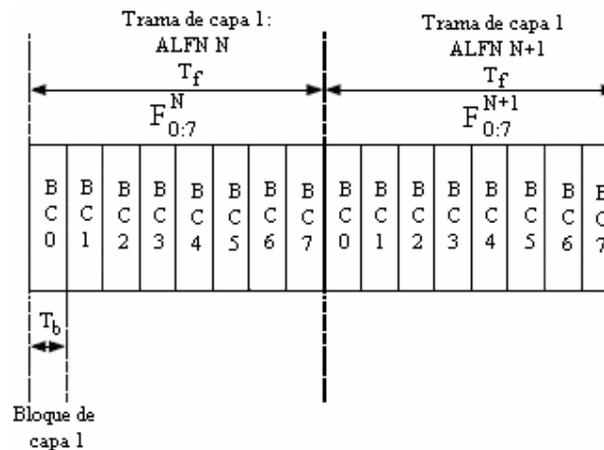
Es una bandera de un bit que indica el ancho de banda máximo de la señal de audio analógico, cuando se trasmite una señal híbrida. La bandera AABI es siempre 0 cuando se transmite una señal digital. La cobertura digital de una estación híbrida (solamente subportadoras primarias), se impacta adversamente por una segunda transmisión híbrida adyacente con un ancho de banda de 8 kHz.

#### *Contador de bloque de capa 1*

Cada trama de capa 1 puede ser considerada por ocho *bloques* de duración  $T_b$ . El contador de bloque ( $BC_{2:0}$ ), es un contador módulo-8 que indica la posición del bloque actual dentro de una trama. El contador de bloque se incrementa cada 32 símbolos OFDM. Un contador de bloque igual a 0 significa el inicio de una trama,

mientras que un contador de bloque igual a 7 designa el bloque final en la trama. El primer contador de bloque insertado en la secuencia de datos es 0.

El contador de bloque se comunica a la capa 2 por medio del SCCH a la tasa  $R_b$ . Estos bits se transmiten en las subportadoras de referencia y son utilizados por el receptor para ayudar a la sincronización. Una ilustración de la relación de los bloques con las tramas se muestra en la figura 2.17.



**Figura 2.17: Bloques y tramas de capa 1**

#### *Indicador del modo de servicio ( $SML_{4:0}$ )*

Es un campo de cinco bits que únicamente indica el modo de servicio actual. La definición de  $SML_{4:0}$  para cada modo de servicio se muestra en la tabla 2.16.

Modo de servicio	Indicador de modo de servicio (Bits 4:0)
Ninguno	00000
MA1	00001
MA3	00010
Reservados	00011–11111

**Tabla 2.16: Asignaciones de bit del modo de servicio**

Las asignaciones de bit superiores al número binario 00010, se reservan para una expansión futura. Sin embargo, cada uno de los modos de servicio reservados debe mantener una compatibilidad hacia atrás. De esa manera los receptores de primera generación siempre se configurarán a uno de los modos operacionales

básicos MA1 o MA3, cuando se detecta uno de los modos reservados. La única excepción a esto es cuando los dos bits menos significativos de SMI son 0. En este caso, la compatibilidad hacia atrás no se mantiene. Este caso se reserva para modos de prueba de sistema y para receptores que asumieron que el modo de servicio es “ninguno”. Como mínimo, la compatibilidad hacia atrás incluye: el canal lógico PIDS, la secuencia de datos del control de sistema (vector  $\underline{R}$ ), y al menos un canal lógico que pueda soportar audio digital de calidad media.

#### 2.1.4.10 Mapeo de subportadora

Para cada matriz de entrelazado activa ( $\underline{PU}$ ,  $\underline{PL}$ ,  $\underline{S}$ ,  $\underline{T}$ ,  $\underline{PIDS}$ ), el mapeo de subportadora asigna las filas de bits a sus respectivos puntos de constelación escalados QPSK, 16-QAM, o 64-QAM en los modos de servicio MA1 y MA3 y luego se mapean a subportadoras OFDM específicas. Los bits del vector  $\underline{R}$  se transforman a puntos de constelación BPSK y se mapean a las dos localidades de subportadoras de referencia. El modo de servicio estipula cuales matrices y cuales elementos de  $\underline{R}$  están activos. La figura 2.18 muestra las entradas, salidas y funciones constitutivas del mapeo de subportadora OFDM.

Las matrices  $\underline{S}$ ,  $\underline{T}$ ,  $\underline{PIDS}$ , y el vector  $\underline{R}$  se mapean a las subportadoras secundarias, terciarias, PIDS, y de referencia respectivamente. Las matrices  $\underline{PL}$  y  $\underline{PU}$  se mapean a las subportadoras inferior y superior primaria, respectivamente. Una fila de cada matriz y un bit del vector  $\underline{R}$  se procesan cada *símbolo OFDM* (cada  $T_s$  segundos) para producir un vector de salida  $\underline{X}$ , el cual es una representación en el dominio de la frecuencia de la señal. El mapeo se acomoda específicamente al ambiente de interferencia no uniforme de la banda AM.

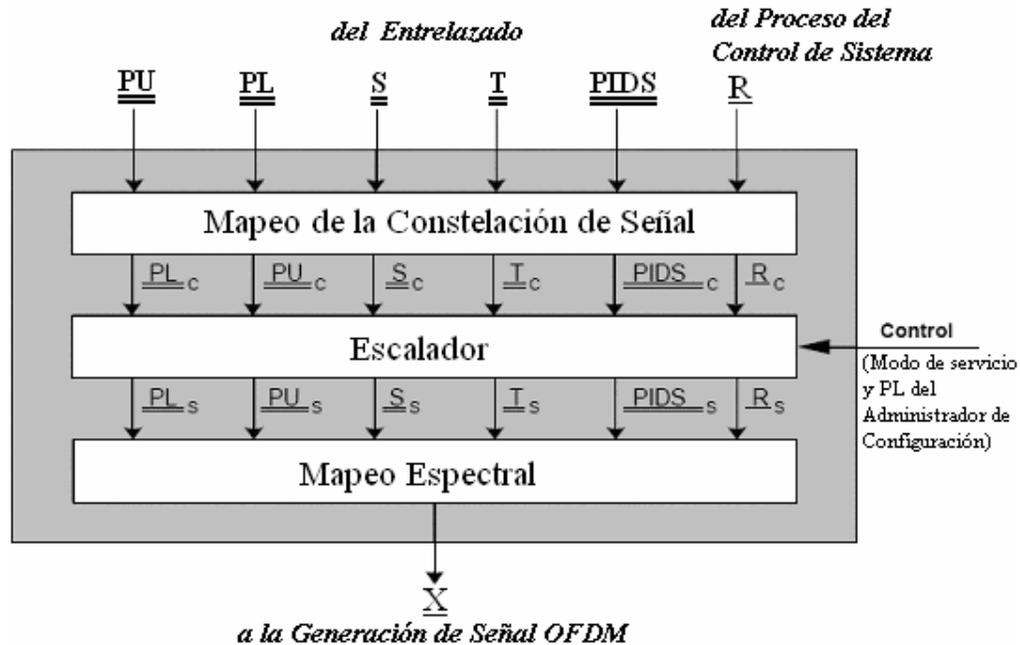


Figura 2.18: Diagrama de bloques del mapeo de subportadora OFDM

El *mapeo de constelación de señal* convierte los elementos individuales de las diversas matrices, de palabras digitales a valores complejos que representan los puntos de constelación. Las dimensiones de las matrices, por consecuencia, permanecen igual durante este proceso. Sin embargo, para distinguir entre las matrices antes y después de que sus elementos hayan sido transformados a valores de constelación, se agrega un subíndice “C” después del mapeo.

El *escalador* multiplica cada elemento complejo de las matrices por un factor de escala, para colocar las subportadoras a un nivel de potencia apropiado con relación a la portadora no modulada. Para indicar que la escala ha sido aplicada, se agrega un subíndice “S” a las matrices de entrelazado.

El *mapeador espectral* coloca los valores de constelación escalados en la posición apropiada en el vector  $\underline{\underline{X}}$ .

La salida del mapeo de subportadora OFDM para cada símbolo OFDM es un único vector complejo,  $\underline{\underline{X}}$ , de longitud 163. El vector se indexa por  $k = 0, 1, 2, \dots, 162$ . El  $k$ -ésimo elemento de  $\underline{\underline{X}}$  corresponde a la subportadora  $(k - 81)$ , como se muestra en la figura 2.19.

Índice en $\underline{X}$	0	1	2	...	160	161	162
Número de Subportadora	-81	-80	-79	...	79	80	81

**Figura 2.19:** Asignación de los elementos del vector  $\underline{X}$  a las subportadoras

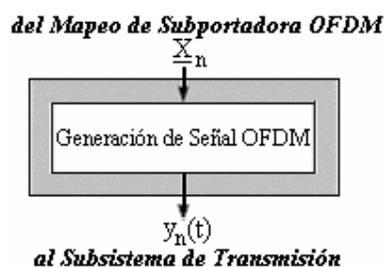
#### 2.1.4.10.1 Procedimiento del mapeo de subportadora OFDM

Para cada matriz activa, se procesa una fila cada  $T_s$  segundos. Las filas son procesadas secuencialmente empezando con la 1ª fila (fila 0). Cuando todas las filas de una matriz han sido procesadas, se continúa con el mismo proceso en la siguiente matriz, empezando con la 1ª fila. Como las subportadoras -56, -55, -54, 0, 54, 55, y 56 no son usadas se fijan al valor  $(0 + j0)$ . Los detalles de cómo los elementos de cada matriz son mapeados a valores de constelación complejos se describen en el Anexo 2.

#### 2.1.4.11 Generación de señal OFDM

En la figura 2.20 se muestra un diagrama de bloque de la generación de señal OFDM. La entrada a la generación de señal OFDM para el  $n$ -ésimo símbolo es un vector complejo en el dominio de la frecuencia,  $\underline{X}_n$  de longitud  $L$ , que representa los valores de constelación complejos para cada subportadora OFDM en  $n$  símbolos OFDM. Para una conveniencia de notación, la salida del mapeo de subportadora OFDM descrito en la sección anterior no utiliza el subíndice  $n$ . Más bien, se refiere al vector  $\underline{X}$  como una representación de un único símbolo OFDM.

Mediante la transformada de Fourier discreta se transforma un símbolo OFDM a un pulso complejo, en banda base, en el dominio del tiempo,  $y_n(t)$ , que representa la porción digital de la señal IBOC AM para  $n$  símbolos.



**Figura 2.20:** Diagrama de bloque de la generación de señal OFDM

#### 2.1.4.11.1 Funcionalidad

$\underline{X}_n[k]$  son los puntos de constelación escalados del mapeo de subportadora OFDM, para el n-ésimo símbolo, donde  $k = 0, 1, \dots, L-1$ .  $y_n(t)$  designa la salida compleja de la generación de señal OFDM para el n-ésimo símbolo. Entonces  $y_n(t)$  puede ser escrito en términos de  $\underline{X}_n[k]$  como sigue:

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

Donde  $n = 0, 1, \dots, \infty$ ,  $0 \leq t \leq \infty$ ,  $L = 163$  es el número máximo de subportadoras OFDM,  $T_s$  y  $\Delta f$  son el periodo de símbolo OFDM y el espaciamiento de subportadora OFDM, respectivamente.

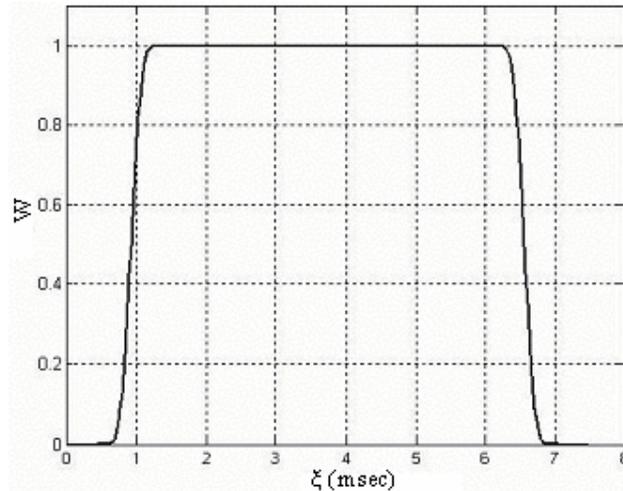
La *función pulso*  $W(\xi)$  se define como:

$$W(\xi) = \begin{cases} 0 & \text{para } \xi < 0 \\ \frac{1}{3\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-4050\left(\frac{\tau}{T_s}\right)^2} H(\xi - \tau) d\tau & \text{para } 0 \leq \xi \leq \frac{348}{270} T_s \\ 0 & \text{para } \xi > \frac{348}{270} T_s \end{cases}$$

donde

$$H(\xi) = \begin{cases} 0.5 \cdot \left[ 1 + \cos\left(\pi \frac{\alpha T - \xi}{\alpha T}\right) \right] & \text{para } 0 \leq \xi \leq \alpha T \\ 1.0 & \text{para } \alpha T \leq \xi \leq T \\ 0.5 \cdot \left[ 1 + \cos\left(\pi \frac{\xi - T}{\alpha T}\right) \right] & \text{para } T \leq \xi \leq (1 + \alpha)T \\ 0 & \text{cualquier otro caso} \end{cases}$$

$\alpha$  = ancho del prefijo cíclico, y  $T = 1/\Delta f$  es el recíproco del espaciamiento de subportadora OFDM. La figura 2.21 muestra un esquema de la función pulso.



**Figura 2.21: Función pulso**

#### 2.1.4.12 Transmisión

El subsistema de transmisión acondiciona la señal IBOC AM de banda base para transmitirla a través del canal de MF. Refiérase a las figuras 2.22 y 2.23 para los diagramas de bloques de los subsistemas híbrido y digital, respectivamente.

La entrada al subsistema de transmisión son los símbolos OFDM, de banda base, en el dominio del tiempo,  $y_n(t)$ , de la generación de señal OFDM que se concatenan para formar una señal continua en el dominio del tiempo,  $y(t)$ . Adicionalmente, cuando se transmite la señal híbrida, también se inyecta desde una fuente analógica una señal de audio analógico en banda base,  $m(t)$ , después de la aplicación del retardo por diversidad  $T_{dd}$ . La señal  $m(t)$  se filtra y se modula para obtener la señal AM,  $a_n(t)$ , para luego combinarla coherentemente con la porción digital, para formar una señal híbrida  $z_n(t)$ . Esta señal se convierte ascendentemente en frecuencia para crear la señal de RF IBOC,  $s(t)$ , lista para la transmisión.

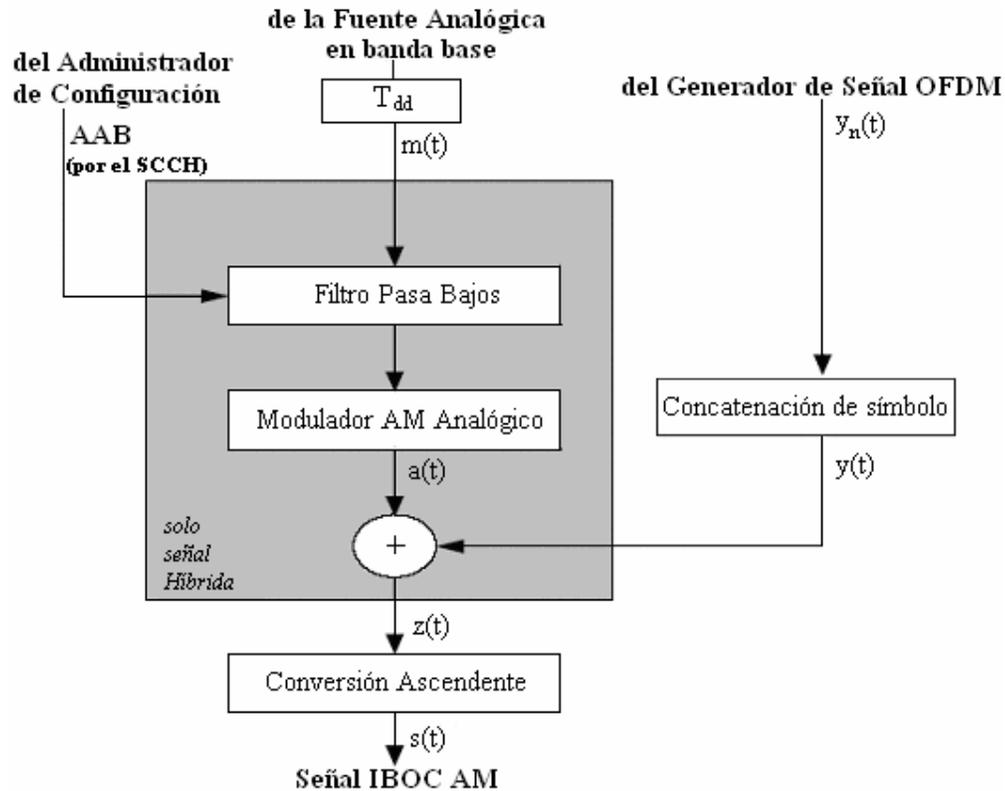


Figura 2.22: Diagrama de bloques del subsistema de transmisión híbrido

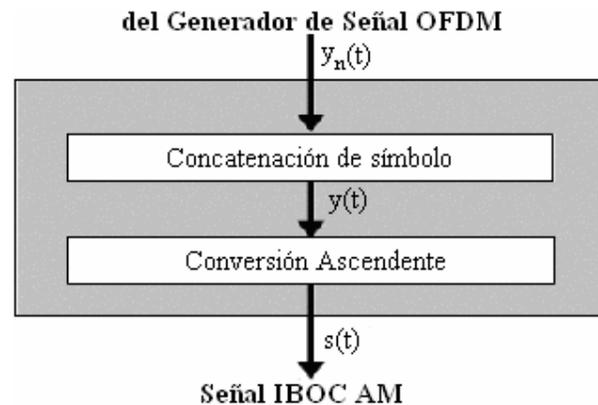


Figura 2.23: Diagrama de bloques de un subsistema de transmisión digital

Existen varios puntos de alineación de tiempo que el subsistema de transmisión debería tratar. Para la transmisión de servicios, cada trama transmitida debería estar apropiadamente alineada con el tiempo GPS. También, los diversos canales lógicos deben estar alineados entre sí, y en algunos modos de servicio ciertos canales son retardados a propósito por una cantidad constante para acomodar la combinación de diversidad en el receptor. La capa 1 suministra la alineación de tiempo de las tramas de transferencia recibidas desde el canal multiplexor. Las

capas superiores proveen una alineación de los contenidos de las tramas de transferencia.

#### ***2.1.4.12.1 Concatenación de símbolo***

Los símbolos individuales OFDM en el dominio del tiempo se suman para producir pulsos continuos sobre  $0 \leq t \leq \infty$ , como sigue:

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

#### ***2.1.4.12.2 Filtro pasa bajos***

En el modo híbrido, el filtro pasa bajos se aplica al audio analógico, de acuerdo al estado del control AAB recibido del administrador de configuración. Si el bit de control es 0, el audio analógico se filtra a un ancho de banda de 5 kHz. Se utiliza un filtro de 5116 Hz de ancho con una atenuación >55dB. Si el bit de control es 1, el audio analógico se filtra a un ancho de banda de 8 kHz. Aquí se usa un filtro de 9 kHz de ancho con una atenuación >60dB. En ambos casos, se fijan las especificaciones de pasa banda para alcanzar el mejor audio posible. El filtrado pasa bajos también puede realizarse en procesadores de audio externos.

#### ***2.1.4.12.3 Retardo por diversidad***

El primer paso en la generación de la señal híbrida, es la aplicación de un retardo por diversidad regulable a la señal de audio analógico de banda base. El retardo se fija de tal modo a la salida del combinador analógico/digital, para retrasar el contenido de audio de la señal digital correspondiente. Si las señales analógica y digital transportan el mismo programa de audio, el audio analógico debería retardarse del correspondiente audio digital. El retardo se regula para justificar los retardos de procesamiento en las señales analógicas y digitales.

#### ***2.1.4.12.4 Modulador AM analógico***

En el modo híbrido, este proceso calcula la envolvente de la señal analógica AM aplicando un índice de modulación y agregando un offset DC como sigue:

$$a(t) = [1 + g \cdot m(t)]$$

Donde  $a(t)$  es la envolvente,  $m(t)$  es la fuente analógica y  $g$  es el índice de modulación. Típicamente,  $g = 1.25$ , que representa un nivel de modulación de +125%. La fuente de audio analógico,  $m(t)$ , debe ser procesada externamente al excitador IBOC AM, de esa manera  $a(t)$  no asume valores negativos.

#### ***2.1.4.12.5 Combinador Analógico/Digital***

En el modo híbrido, la parte real de la señal AM analógica en banda base,  $a(t)$ , se combina coherentemente con la señal digital en banda base,  $y(t)$ , para producir la señal híbrida compleja IBOC AM de banda base,  $z(t)$ , como sigue:

$$\text{Re} [z(t)] = \text{Re} [y(t)] + a(t)$$

$$\text{Im} [z(t)] = \text{Im} [y(t)]$$

#### ***2.1.4.12.6 Conversión ascendente de frecuencia***

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

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

Donde  $f_c$  es la frecuencia del canal de RF y  $\text{Re}(\ )$  denota la componente real de la cantidad compleja. Para la señal digital,  $z(t)$  se reemplaza con  $y(t)$ . Las porciones analógica y digital de la señal híbrida se centran en la misma frecuencia de portadora.

### **2.1.5 CARACTERÍSTICAS DEL TRANSPORTE Y SERVICIO MULTIPLEXOR**

La función principal de la capa 2 es recibir audio y datos desde las capas superiores, multiplexar esta información en PDUs de capa 2 y rutear los PDUs a un canal lógico apropiado de capa 1. La capa 2 permite que los transportes del MPS/SPS y del AAS sean activados dentro de cualquier canal lógico, con la excepción del PIDS. La información de las capas superiores también está en forma de PDUs, pero de capa transporte.

El sistema IBOC permite a una estación ofrecer múltiples servicios. Un servicio puede considerarse como una agrupación lógica de datos de aplicación. Los servicios se agrupan en una de las tres categorías:

1. Servicios Centrales:

- a. Servicio de Programa Principal (MPS)
- b. Servicio de Información de Estación (SIS)

2. Servicio de Programa Suplementario (SPS)

3. Servicios de Datos Avanzados (ADS)

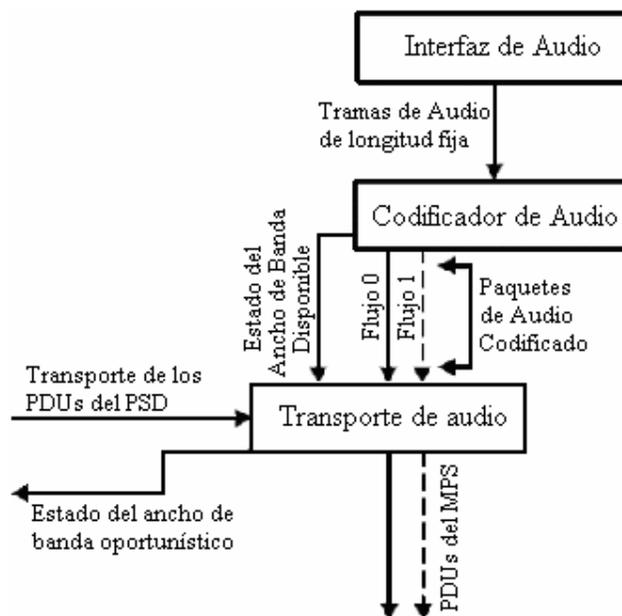
**2.1.5.1 Servicios Centrales**

***2.1.5.1.1 Servicio de Programa Principal (MPS)***

El MPS es una extensión directa de la radio analógica tradicional. IBOC permite la transmisión de la programación actual de la radio analógica en formato analógico y digital. Esto permite una suave transición de la radio analógica a la radio digital. Los receptores que no están habilitados para IBOC podrán continuar recibiendo la señal de radio analógica, mientras que los receptores IBOC podrán recibir las señales digitales y analógicas por medio de la misma banda de frecuencia.

*Audio MPS*

La figura 2.24 detalla la interfaz del codificador de audio para el sistema IBOC<sup>20</sup>. El codificador de audio recibe tramas de audio desde la interfaz de audio y las codifica. El audio codificado se combina con los datos MPS, y se envían al canal multiplexor (capa 2) como PDUs del codec de audio. El PDU del codec de audio está compuesto por audio comprimido y PSD.



**Figura 2.24: Diagrama de la interfaz del protocolo del codec de audio**

La trama de audio, el paquete y el PDU se definen como:

**Trama de audio** Es la unidad del payload de información, intercambiada desde la interfaz de audio y el protocolo del codec de audio. Las tramas de audio se comprenden típicamente por 1024 muestras a una tasa de muestreo de 44.1 kHz, usando la modulación de pulsos codificados de 16 bits.

**Paquete de audio codificado** Son las tramas de audio comprimidas resultantes del codificador de audio. Los paquetes podrían ser divididos de uno a tres flujos de salida, dependiendo del modo del

<sup>20</sup> Este estándar no especifica un codificador. A fin de determinar la viabilidad del sistema el NRSC lo evalúa usando el Codec HD desarrollado por iBiquity y Coding Technologies.

codificador de audio.

**PDU del codec de audio** Es el resultado del transporte de audio. Un PDU del codec de audio consiste de información de protocolo seguida por una secuencia de paquetes de audio codificados. Estos PDUs podrían ser proporcionados de uno a tres flujos, dependiendo del modo del codificador de audio.

### *Interfaz de los datos MPS*

Los datos MPS definen un conjunto específico de campos de datos (ej., artista, título, etc). Los campos pueden ser usados para todas las formas de programación de audio.

Los campos centrales incluyen los siguientes:

<b>Título</b>	Equivalente al nombre del título (de una sola línea.)
<b>Artista</b>	Artista, creador, autor, patrocinador, anfitrión.
<b>Álbum</b>	Fuente de contenido, como el nombre del álbum, nombre del espectáculo, nombre del patrocinador.
<b>Género</b>	Categorización del contenido. Este es un campo de tipos predefinidos, como Jazz, Rock, Discurso, etc.
<b>Comentario del título</b>	Descripción del comentario (de una sola línea.)
<b>Descripción comentario</b>	Descripción detallada, petición del usuario u otra información, como el URL del sitio web.
<b>Comercial</b>	Campos que mantienen anuncios y venta de productos: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Precio de la mercadería.</li> <li>- Datos de expiración para la transacción.</li> <li>- Métodos de transacción.</li> <li>- URL que podría ser usado para iniciar la transacción de compra por medio de un canal de retorno externo.</li> <li>- Descripción de publicidad.</li> <li>- Identificación del vendedor de servicios.</li> </ul>

**Identificador referencia** Identificador que puede ser usado para identificar únicamente el mensaje de datos MPS.

#### *2.1.5.1.2 Servicio de Información de Estación (SIS)*

El SIS suministra el control necesario de la radio estación y la información de identificación, como las iniciales de la estación, el tiempo y la información de referencia de localización. El SIS puede ser considerado como un servicio integrado que se dispone fácilmente en todas las estaciones de radio digital IBOC.

##### *Interfaz SIS*

La interfaz SIS permite a los difusores transmitir la siguiente información:

**Nombre de la estación** Identifica el nombre de la estación. Se puede transmitir nombres largos de estación.

**Numero ID de estación** Es el único identificador numérico que identifica una estación aprobada por el organismo de control. El número ID de estación se hace acorde a la siguiente información: i) código del país, y ii) ID de servicio.

**Ubicación de estación** Suministra una ubicación geográfica tridimensional de la estación, consiste de latitud, longitud y altitud.

##### **Número absoluto de**

**trama de capa 1 (ALFN)** El *tiempo de sistema* se obtiene del ALFN y puede ser usado para suministrar una sincronización exacta del reloj de los receptores. El ALFN refleja el tiempo GPS.

**Mensaje SIS** Suministra datos adicionales para ayudar al receptor con aplicaciones de tiempo y posición. El mensaje incluye campos de datos para cronometrar saltos de segundo (GPS) y el tiempo local (tiempo zonal, ajuste de tiempo, etc). Los receptores IBOC habilitados con las aplicaciones actuales usan estos parámetros junto con el ALFN para calcular el tiempo local correcto.

### **2.1.5.2 Servicio de Programa Suplementario (SPS)**

El SPS es una extensión directa 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). El sistema permite reasignar capacidad, que de otra manera podría ser usada por el MPS o datos a fin de permitir esta configuración. Una difusión de SPS no afecta la habilidad de los receptores para recibir señales analógicas o transmisiones MPS, aún si el receptor no permite SPS.

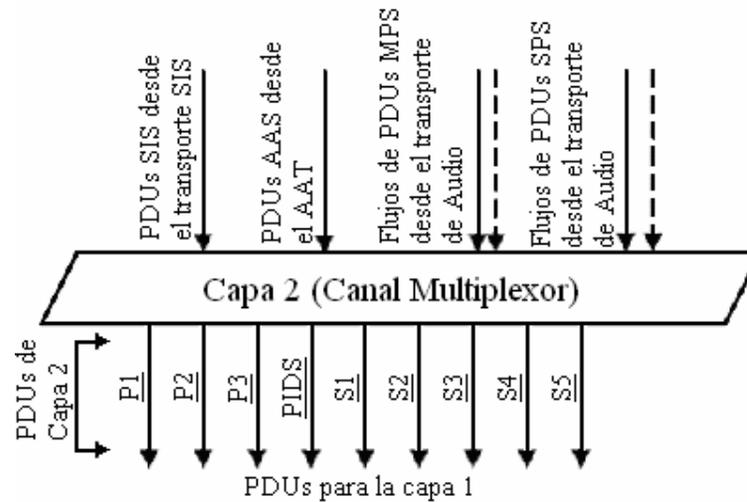
### **2.1.5.3 Servicios de Datos Avanzados**

Los servicios de datos avanzados son respaldados por el Servicio de Aplicación Avanzada (AAS, por sus siglas en inglés), el cual es un completo modelo donde se podría elaborar nuevas aplicaciones. Adicionalmente para permitir múltiples aplicaciones de datos para compartir el medio de transmisión, el AAS suministra un mecanismo de transporte común.

El AAS provee al difusor la opción de multiplexar tipos adicionales de contenido, otro que el SPS, junto con el MPS. Provee el mecanismo de transporte de paquetes para estos servicios. Realiza el entramado y la encapsulación de los paquetes de datos. Hay dos tipos de métodos para multiplexar los datos AAS en PDUs de capa 2: constante y oportunístico. Los datos constantes reservan una cantidad fija de ancho de banda, y los datos oportunísticos hacen uso de cualquier ancho de banda no usado debido a la variabilidad del MPS y del SPS.

### **2.1.5.4 Canal Multiplexor**

El canal multiplexor permite al sistema IBOC mantener cuatro servicios de transporte independientes: MPS, SPS, SIS y AAS, como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 2.25: Diagrama de la interfaz de capa 2**

El canal multiplexor es consciente de los requerimientos de configuración del transporte de audio (ej., mapeo de canal y requerimientos de ancho de banda). Esto permite un alto nivel de sincronización entre los flujos de programación de audio analógico y digital. El canal multiplexor tiene la flexibilidad para asignar dinámicamente el ancho de banda del MPS/SPS no utilizado para los servicios de datos avanzados. El SIS pasa a través del canal multiplexor sin ningún procedimiento adicional.

### 2.1.5.5 Generación de PDU de capa 2

#### 2.1.5.5.1 Transporte MPS/SPS

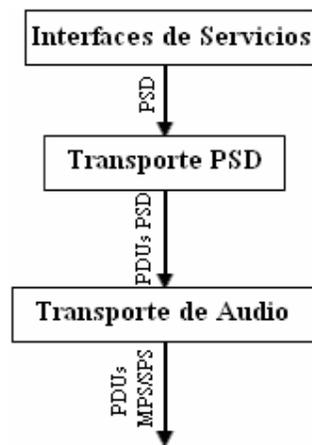
El MPS incluye el audio MPS (MPSA) y los datos MPS (MPSD). Similarmente, el SPS incluye el audio SPS (SPSA) y los datos SPS (SPSD). Los PDUs del MPS/SPS son generados por el mismo Transporte de Audio. Ambos servicios contienen encabezados y estructura de datos idénticos.

El MPSD y el SPSD en general son conocidos como los Datos del Servicio de Programa (PSD). El PSD provee información adicional acerca del audio transmitido. El procesamiento de los datos SPS es exactamente el mismo que los datos MPS (Transporte PSD).

El audio y los datos del programa principal son sincronizados en el estudio. Eso es, el PSD se transmite a fin de que los receptores puedan obtenerlo al mismo tiempo en que la programación de audio está siendo captada por los oyentes.

#### **2.1.5.5.2 Flujo de Datos del Servicio de Programa (PSD)**

La figura 2.26 ilustra el flujo PSD a través del sistema IBOC. El PSD se envía a través de la Interfaz de Servicio como etiquetas ID3, las cuales se transmiten como paquetes de datos. Estos paquetes de datos se procesan en el mecanismo de radio enlace del Transporte PSD para la encapsulación como flujos de bytes PDUs PSD, y luego el Transporte de Audio los multiplexa con los paquetes de audio codificados para generar PDUs MPS/SPS. De esa manera los flujos salientes del Transporte de Audio contienen el audio comprimido y los flujos de bytes PSD. Los flujos PSD son repetidos continuamente a través de la transmisión. La tasa de transmisión depende del ancho de banda disponible y de la longitud del mensaje.



**Figura 2.26: Flujo PSD**

Adicionalmente al transporte de carga útil, el paquete PSD también provee:

- Esquemas de direccionamiento para permitir asociar los paquetes a los servicios.
- Un control de secuencia para asegurar una conservación y detección del orden de paquetes.

- Una información de detección de error para permitir una detección confiable de paquetes.

### *Generación de etiquetas ID3*

Las etiquetas ID3 se generan en la Interfaz de Servicio y se suministran junto con el contenido de audio. ID3 ha sido usado para permitir información textual, tales como artista, título, género musical para coexistir con archivos de audio codificado. El sistema IBOC utiliza ID3 para entregar los PSD junto con una programación de audio a tiempo real.

#### ***2.1.5.5.3 Transporte SIS***

El SIS se transporta por medio de un canal lógico dedicado PIDS de capa 1. Para estos canales lógicos, la capa 2 no realiza la función de multiplexación, pero en cambio, los PDUs del SIS pasan directamente al canal lógico PIDS sin overhead adicional. El PDU SIS es el único PDU contenido en el canal lógico PIDS. El sistema IBOC provee SIS para todas las aplicaciones y servicios.

#### ***2.1.5.5.4 Transporte de Aplicación Avanzada***

El Transporte de Aplicación Avanzada (AAT, por sus siglas en inglés) se usa en el transporte de datos oportunisticos y constantes. Durante la transmisión, el AAT recibe datos AAS desde las interfaces de servicio, y entonces codifica y encapsula estos datos mediante el subsistema de radio enlace para generar PDUs AAS. Este proceso es similar al transporte utilizado por el PSD. Los PDUs AAS se envían a la capa 2 sobre diferentes canales de datos que transportan paquetes de datos constantes y oportunisticos.

El protocolo utilizado en el subsistema de radio enlace para la encapsulación de los PDUs de capa 2 se presenta en el capítulo 3.

## 2.1.6 CARACTERÍSTICAS DEL CODIFICADOR DE AUDIO

Empezando con las pruebas de funcionamiento inicial en los transmisores y receptores IBOC de 1ª generación, el desempeño del audio no era agradable. En las pruebas de NRSC, iBiquity utilizó el codec MPEG AAC<sup>21</sup>, de Fraunhofer, el cual tuvo un buen desempeño. Sin embargo, para uso comercial, iBiquity adoptó su codec propietario PAC (Codificador de Audio Perceptual) de Lucent. Las primeras implementaciones en las emisoras AM indicaron un resultado poco satisfactorio a bajas tasas de bit, por lo que el grupo de estudio del NRSC detuvo el proceso de estandarización de IBOC en Mayo del 2003.

### 2.1.6.1 HDC

En Agosto del 2003, iBiquity sustituyó el codificador PAC por un segundo codificador propietario, denominado HDC, desarrollado por Coding Technologies. Este codificador ha sido probado tanto para AM y FM, mostrando un funcionamiento exitoso. El codec HDC puede mantener una alta calidad de desempeño aún cuando la tasa de bit disminuye.

El codificador HDC es una versión modificada de AACplus, es decir, utiliza el codec AAC complementado por la tecnología de Replicación de Banda Espectral (SBR, por sus siglas en inglés), con lo que se obtiene audio estereofónico similar a FM de alta calidad dentro de las restricciones de ancho de banda impuestas en el funcionamiento por debajo de 30 MHz. Para reforzar la robustez del audio digital aún más de lo que permite la FEC y el entrelazado, el codec de audio emplea técnicas especiales de ocultación de errores para enmascarar los efectos de errores en el flujo de bits de entrada. Además, el formato del flujo de bits del codec proporciona la flexibilidad de permitir futuras mejoras de las técnicas de codificación de audio.

Inicialmente, la tasa de bits para el audio digital transmitido en AM será de 36 kbps, en este caso no se proporciona una tasa de bits para datos. Tenga en

---

<sup>21</sup> AAC: Advanced Audio Coding (Codificación de Audio Avanzado).

cuenta que siempre existirá el canal PIDS para todos los modos de servicio, el cual trabaja a 400 bps. Para algunas estaciones AM el canal PIDS puede entregar todos los datos que se necesite, por lo menos en las primeras fases de transmisión de la señal híbrida IBOC AM. La velocidad de 36 kbps se requiere para formatos de música, mientras que las tasas de bit más pequeñas pueden aplicarse a formatos hablados, noticias y deportes.

#### ***2.1.6.1.1 AACplus***

El AACplus es un formato de compresión de audio digital. AACplus provee flujos de audio con calidad de CD y un consumo de ancho de banda muy bajo. Se basa en el MPEG-4 y combina tres técnicas: Codificación de Audio Avanzado (AAC), Replicación de Banda Espectral (SBR) y Estéreo Paramétrico (PS). Esta combinación incrementa por dos la eficiencia de un MPEG AAC.

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. Esta técnica elimina las frecuencias que no pueden ser percibidas por el oído humano. Las frecuencias que son demasiado bajas o demasiado altas son eliminadas de la misma forma que los sonidos fuertes opacan a los sonidos suaves. La idea de esta codificación es que la presencia de ciertos estímulos auditivos puede influenciar en la habilidad del cerebro para percibir otras estimulaciones. Simplemente, algunos sonidos pueden enmascarar a otros sonidos. La codificación toma ventaja de estos aspectos de la señal de audio para no codificar lo que el oyente no puede escuchar.

#### ***2.1.6.1.2 SBR***

La replicación de banda espectral es una tecnología empleada para mejorar los codecs de audio, especialmente a bajas tasas de bit. El ancho de banda limitado disponible para un sistema de radio digital permite utilizar bajas tasas de bit por canal, a fin de crear un conjunto completo de programas para el oyente.

SBR se puede combinar con cualquier codec de compresión de audio para incrementar el limitado ancho de banda. El codec transmite las frecuencias más bajas del espectro, mientras que el SBR reconstruirá las altas frecuencias como una especie de ruido, a partir de la información proporcionada por el codec y por una información guía (nivel, distribución, rango de frecuencias) que se transmite en el flujo de bits codificado a muy bajas tasas de datos. Esta técnica se basa en el principio en que el cerebro humano tiende a considerar las altas frecuencias como un fenómeno armónico asociado a las bajas frecuencias, o simplemente ruido; y por tal es menos sensible al contenido exacto de las señales de audio.

#### ***2.1.6.1.3 Estéreo Paramétrico***

El Estéreo Paramétrico incrementa la eficiencia de los codecs de audio para señales estéreo a bajas tasas de bit. Este codificador extrae una representación paramétrica de la imagen estéreo de una señal de audio, mientras que solamente se codifica en una manera convencional una representación monoaural de la señal original. La información de la imagen estéreo se representa como una pequeña cantidad de alta calidad de la información estéreo y se transmite junto con la señal monoaural en el flujo de bits. Basado en la información estéreo paramétrica, el codificador es capaz de regenerar la imagen estéreo.

A continuación se especifica algunas de las características de los codecs de audio diseñados para usarse con el sistema IBOC. Los sistemas adecuados de codificación y compresión de audio usarán la codificación HDC, u otras tecnologías apropiadas para reducir la tasa de bit requerida para la descripción de las señales de audio. El codec suprime la información redundante de una señal de audio digital para reducir el ancho de banda requerido para transmitir la señal.

#### **2.1.6.2 Tasa de codificación**

La tabla 2.17 muestra las tasas de bits de audio por defecto para cada modo del codec de audio. Las tasas de bit mínimas se muestran en la tabla 2.18.

Modo del codec de audio	Uso típico	Tipo de flujo	Tasa de bit nominal (kbps)
0000	FM híbrido, híbrido extendido (MP1-MP4)	Núcleo	96
0001	FM digital (MP6)	Mejorado	48
		Mejorado	48
0010	AM híbrido (MA1)	Núcleo	20
		Mejorado	16
	AM digital (MA3)	Núcleo	20
		Mejorado	20
0011	FM digital (MP5)	Núcleo	24
		Mejorado	72
1010	FM Servicio de Programa Suplementario	Núcleo	22
		Mejorado	24
1101	FM Servicio de Programa Suplementario	Núcleo	24

**Tabla 2.17: Tasa de bits de audio por defecto como función del modo del codec de audio**

Modo del codec de audio	Uso típico	Tasa de bit nominal (kbps)	Tasa de bit mínimo (kbps)†
0000	FM híbrida	96	24
0001	FM digital	96	24
0010	AM híbrida	36	20
	AM digital	40	20
0011	FM digital	96	24
1010	FM SPS	46	22
1101	FM SPS	24	12

**Tabla 2.18: Tasa de bits nominal y mínima como función del modo del codec de audio**

† Estos valores reflejan tasas útiles. Una tasa de "0" también se considera pero refleja un código inactivo.

### 2.1.7 PARÁMETROS DEL SISTEMA IBOC PARA AM

Parámetro	Símbolo	Unidades	Valor exacto	Valor calculado (hasta 4 cifras significativas)
Espaciamiento de subportadora OFDM	$\Delta f$	Hz	1488375/8192	181.7
Ancho del prefijo cíclico	A	ninguna	7/128	5.469 x 10 <sup>-2</sup>
Duración de símbolo OFDM	$T_s$	S	$(1+\alpha)/\Delta f = (135/128) \cdot (8192/1488375)$	5.805 x 10 <sup>-3</sup>
Tasa de símbolo OFDM	$R_s$	Hz	$= 1/T_s$	172.3
Duración de la trama L1	$T_f$	S	65536/44100 = 256· $T_s$	1.486
Tasa de la trama L1	$R_f$	Hz	$= 1/T_f$	6.729 x 10 <sup>-1</sup>
Duración del bloque L1	$T_b$	S	$= 32 \cdot T_s$	1.858 x 10 <sup>-1</sup>
Tasa del bloque L1	$R_b$	Hz	$= 1/T_b$	5.383
Retardo por diversidad de tramas	Ndd	ninguna	3	3
Retardo por diversidad de tiempo	Tdd	s	$= Ndd \cdot T_f$	4.458

**Tabla 2.19: Resumen de parámetros del sistema IBOC para AM**

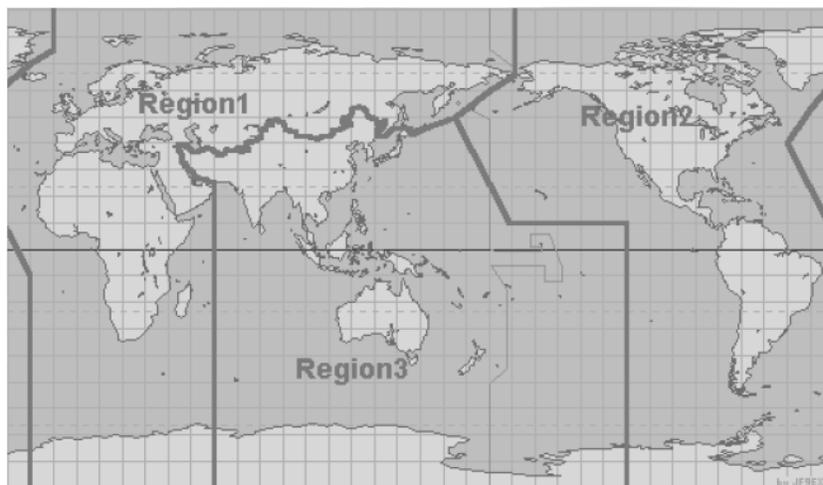
## 2.2 DRM (DIGITAL RADIO MONDIALE)

### 2.2.1 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

El sistema de radio digital DRM, está diseñado para transmisiones de radio en las bandas de frecuencia usadas por debajo de 30 MHz, es decir:

- Banda de baja frecuencia (LF): desde 148,5 kHz a 283,5 kHz, en la región 1 de la ITU.
- Banda de media frecuencia (MF): desde 526,5 kHz a 1606,5 kHz, en las regiones 1 y 3 y desde 525 kHz a 1705 kHz en la región 2;
- Bandas de alta frecuencia (HF): un conjunto de bandas en el rango de frecuencia que va desde 2,3 MHz a 27 MHz, generalmente disponible a nivel mundial.

La división de regiones de la UIT se puede observar en la figura 2.27:



**Figura 2.27: Regiones de la UIT**

Sin embargo, los servicios de transmisión en estas bandas utilizan técnicas analógicas; y están sujetos a una calidad limitada y a una considerable interferencia debido a los mecanismos de propagación de larga distancia que prevalecen en esta parte del espectro de frecuencia.

A causa de las consideraciones anteriores, se desea efectuar una transición a técnicas de transmisión y recepción digital, para proporcionar un aumento en la calidad del sonido, factor importante para retener a los radioescuchas.

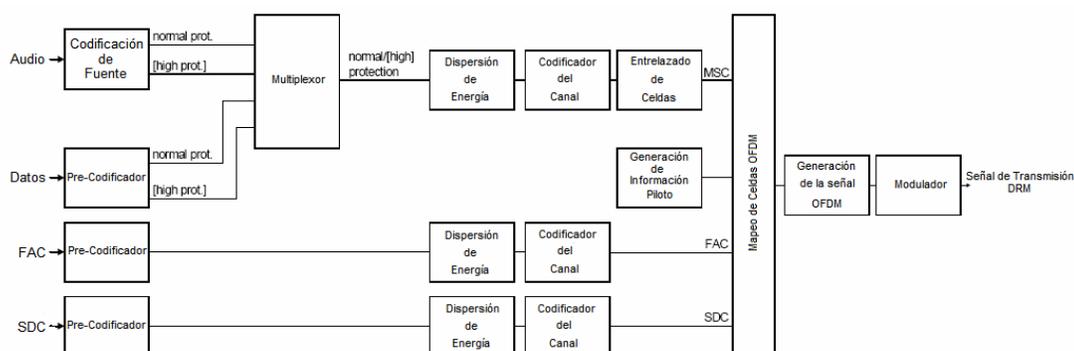
### 2.2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES

El sistema DRM está diseñado para ser usado en cualquier frecuencia debajo de 30 MHz, es decir, dentro de las bandas de transmisión de onda larga, onda media y onda corta<sup>22</sup>, con las limitaciones de canalización y las condiciones variables de propagación a lo largo de estas bandas. Para remediar esta adversidad se disponen diferentes modos de transmisión que satisfacen estas limitaciones de operación. Un modo de transmisión se especifica tomando en cuenta por un lado, el ancho de banda de la señal, así como también la eficiencia de transmisión.

El primer tipo de parámetros define la cantidad total de ancho de banda para una transmisión. Los parámetros relacionados con la eficiencia permiten un equilibrio entre la capacidad (tasa de bits útil) y la robustez al ruido, las trayectorias múltiples y el efecto Doppler.

### 2.2.3 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

La figura 2.28 describe el flujo general de las diferentes clases de información desde la codificación hasta la modulación del transmisor DRM.



**Figura 2.28: Diagrama de bloques de entrada del transmisor DRM**

<sup>22</sup> En nuestro país no se utiliza la banda de Onda Larga, muy al contrario que en Europa.

A la entrada del diagrama tenemos dos tipos de información:

- Audio y datos codificados que se combinan en el multiplexor de servicio principal, con diferentes relaciones de protección.
- 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.

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. Las salidas del codificador de fuente y las secuencias de datos pre-codificados pueden comprender dos partes que requieren diferentes niveles de protección dentro del codificador de canal, todos los servicios tienen que usar los mismos dos niveles de protección.

El multiplexor combina los niveles de protección de todos los servicios de datos y audio. 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.

La dispersión de energía proporciona un complemento determinístico y selectivo de bits para reducir la posibilidad de que patrones sistemáticos resulten en una regularidad no deseada de la señal transmitida.

El tren de bits resultante se somete al codificador de canal que agrega información redundante para la corrección de errores, incrementa su robustez para la transmisión libre de error y define la correspondencia de la información codificada digital con celdas QAM<sup>23</sup>. El sistema tiene la capacidad, si el radiodifusor lo desea, de transportar dos categorías de bits, estando una categoría mejor protegida que la otra. La codificación de fuente reduce la tasa de bits de datos, mientras que la codificación de canal la incrementa.

---

<sup>23</sup> QAM: Quadrature Amplitude Modulation (Modulación de Amplitud en Cuadratura).

El entrelazado de celdas dispersa las celdas QAM consecutivas en una secuencia de celdas, casi aleatoria, separadas en tiempo y en frecuencia, con el fin de proporcionar un elemento adicional de robustez en la transmisión del audio en canales dispersos en tiempo y frecuencia.

El generador piloto inyecta información y proporciona recursos que permiten que el receptor obtenga información de igualación de canal, logrando así la demodulación coherente de la señal.

El ordenador de celdas OFDM recopila las diferentes clases de celdas y las coloca en una rejilla de tiempo-frecuencia.

El generador de señales OFDM transforma cada conjunto de celdas con el mismo índice temporal a una representación de la señal en el dominio del tiempo. Consecutivamente, el símbolo OFDM completo en el dominio del tiempo se obtiene a partir de esta representación insertando un intervalo de guarda.

El modulador convierte la representación digital de la señal OFDM en una señal analógica que será transmitida por la atmósfera. Esta operación involucra la conversión ascendente de frecuencia, la conversión digital/analógica y el filtrado.

Con un transmisor de alta potencia no lineal, la señal se separa primeramente en sus componentes de amplitud y fase (esto puede hacerse ventajosamente en el dominio digital), y después se recombina (por la acción del propio transmisor) antes de la emisión final.

En recepción, primero se adquiere la sincronización con la señal, entonces se invierten las fases de transmisión por medio de los siguientes procesos:

1. Demodulación;
2. Decodificación del canal (corrigiendo los errores de transmisión);
3. Demultiplexación de los datos transmitidos en las componentes de las secuencias;

4. Decodificación de fuente (para obtener una señal de audio de una secuencia de audio).

## 2.2.4 MODOS DE TRANSMISIÓN

### 2.2.4.1 Parámetros relacionados con el ancho de banda de la señal

El ancho de los canales actuales para transmisión de radio debajo de 30 MHz son 9 kHz y 10 kHz. El sistema DRM está diseñado para usarse:

- En estos anchos de banda nominales, para satisfacer la situación actual de la distribución de frecuencias;
- En la mitad de estos anchos de banda (4,5 kHz o 5 kHz) para permitir el simulcast<sup>24</sup> con señales analógicas AM;
- En el doble de estos anchos de banda (18 kHz o 20 kHz) para proporcionar una mayor capacidad de transmisión, siempre y cuando las necesidades de distribución permitan esta facilidad.

La ocupación del espectro se rige a los valores de la tabla 2.21:

		Ocupación del espectro					
		0	1	2	3	4	5
Ancho de banda del canal (khz)		4.5	5	9	10	18	20

Tabla 2.21: Valores de ocupación del espectro para el sistema DRM

### 2.2.4.2 Parámetros relacionados con la eficiencia de transmisión

Para cualquier valor de ancho de banda de la señal, se definen los parámetros relacionados con la eficiencia de transmisión para permitir un equilibrio entre la capacidad (tasa de bit útil) y la resistencia al ruido, las trayectorias múltiples y el efecto Doppler. Estos parámetros son de dos tipos:

<sup>24</sup> Simulcast: transmisión simultánea de señales analógicas y digitales.

- La tasa de código y los parámetros de constelación, definen qué tasa de código y qué constelaciones se usan para llevar los datos;
- Los parámetros de símbolo OFDM, definen la estructura de los símbolos para ser usados como una función de las condiciones de propagación.

### 2.2.5 TASAS DE CÓDIGO Y CONSTELACIONES

El sistema proporciona un rango de opciones para lograr uno o dos niveles de protección en el tiempo, como una función de protección deseada, asociada dentro de cada servicio o parte de un servicio. Dependiendo de los requisitos del servicio, los niveles de protección se determinan por la tasa de código del codificador de canal, el orden de la constelación o la modulación jerárquica.<sup>25</sup>

### 2.2.6 CONJUNTO DE PARÁMETROS OFDM

Estos valores se definen para diferentes condiciones de transmisión relacionadas con la propagación en las bandas LF, MF y HF para mantener varios modos de robustez de la señal. En un ancho de banda dado, los diferentes modos de robustez proporcionan diferentes tasas de datos disponibles. La tabla 2.22 ilustra los usos típicos de los modos de robustez.

Modo robustez	Condiciones de propagación típicas	Bandas a emplearse
<b>A</b>	Canales gaussianos, con menor desvanecimiento	LF y MF
<b>B</b>	Canales selectivos de tiempo y frecuencia con dispersión por retardo más largo	MF y HF
<b>C</b>	Como el modo de robustez B pero con dispersión Doppler más alta	HF
<b>D</b>	Como el modo de robustez B pero con retardo severo y dispersión Doppler	HF

**Tabla 2.22: Usos de los modos de robustez y sus respectivas bandas**

Un símbolo es un conjunto de sub-portadoras durante un segmento de tiempo. La señal transmitida comprende una sucesión de símbolos OFDM, cada símbolo contiene un intervalo de guarda, que es una repetición cíclica de una porción de la

<sup>25</sup> Modulación jerárquica: Sistema de modulación que permite la transmisión de dos flujos diferentes de datos (alta prioridad y baja prioridad) en un único flujo de un solo canal, mayor información en el Anexo 3.

señal, seguido por la parte útil del símbolo. Cada símbolo es la suma de  $k$  porciones de una senoide igualmente espaciada en frecuencia. Cada porción de la onda seno, llamada "celda", se transmite con una amplitud y fase dada y corresponde a una posición de la portadora, es decir, la misma portadora va a estar presente en varios símbolos. Se hace referencia a cada portadora por el índice  $k$  que pertenece al intervalo  $[k_{\min}, k_{\max}]$ , donde  $k = 0$  corresponde a la frecuencia de referencia de la señal transmitida. En DRM cada símbolo contiene un número determinado de sub-portadoras, dependiendo del modo de transmisión y del tipo de ocupación del espectro. El número preciso de subportadoras para cada ocupación del espectro se señala en la tabla 2.23:

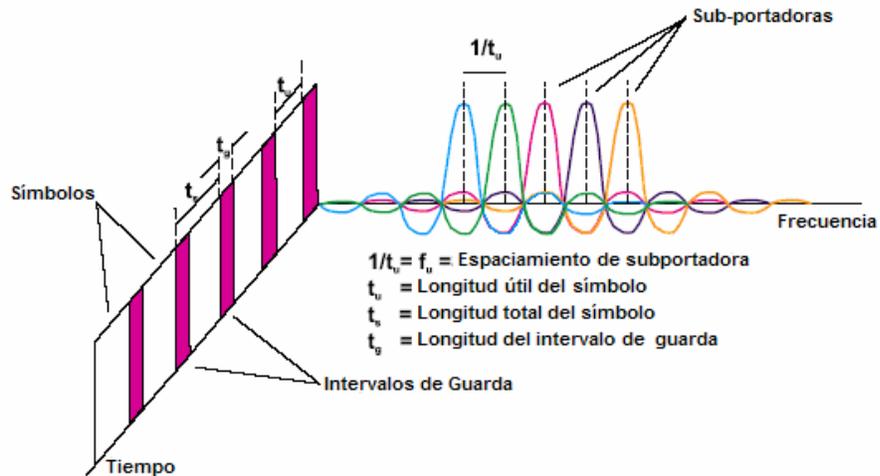
Modo de Transmisión	Portadoras	Ocupación del Espectro					
		0	1	2	3	4	5
<b>A</b>	Kmín	2	2	-102	-114	-98	-110
	Kmáx	102	114	102	114	314	350
	#	<b>100</b>	<b>112</b>	<b>204</b>	<b>228</b>	<b>412</b>	<b>460</b>
<b>B</b>	Kmín	1	1	-91	-103	-87	-99
	Kmáx	91	103	91	103	279	311
	#	<b>90</b>	<b>102</b>	<b>182</b>	<b>206</b>	<b>366</b>	<b>410</b>
<b>C</b>	Kmín	-	-	-	-69	-	-67
	Kmáx	-	-	-	69	-	213
	#	-	-	-	<b>138</b>	-	<b>280</b>
<b>D</b>	Kmín	-	-	-	-44	-	-43
	Kmáx	-	-	-	44	-	135
	#	-	-	-	<b>88</b>	-	<b>178</b>

**Tabla 2.23: Número de portadoras según la ocupación del espectro**

QAM se utiliza para la modulación que se imprime en cada una de las diversas subportadoras para transportar la información.

Los parámetros del símbolo OFDM relacionados con el tiempo, se expresan en múltiplos del periodo de tiempo elemental  $T$ , que es igual a  $83^{1/3}$   $\mu\text{s}$ . Estos parámetros son:

- $T_g$ : duración del intervalo de guarda;
- $T_s$ : duración de un símbolo OFDM;
- $T_u$ : duración de la parte útil (ortogonal) de un símbolo OFDM (es decir, excluyendo el intervalo de guarda).



**Figura 2.29: Parámetros del símbolo OFDM**

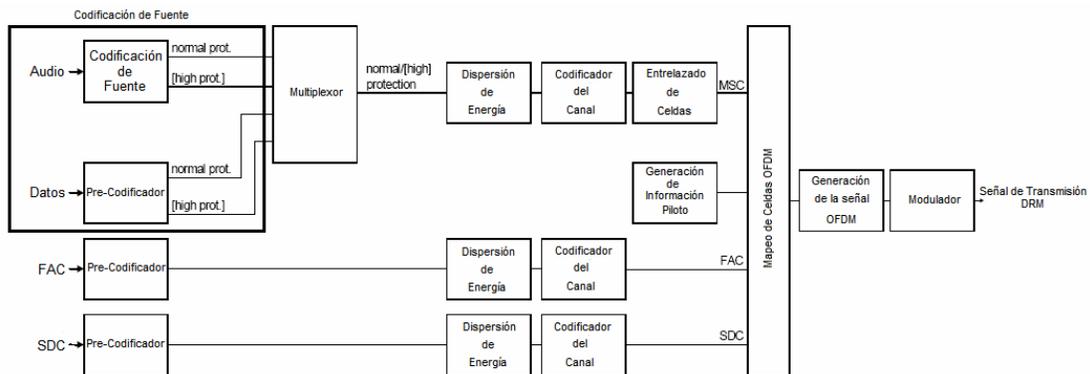
Los símbolos OFDM se agrupan para formar tramas de transmisión de duración  $T_f$ . Un cierto número de celdas en cada símbolo OFDM se transmiten con una amplitud y fase predeterminada, para ser usadas como referencias en el proceso de demodulación, a fin de obtener información de igualación de canal en el receptor. Se llaman "referencias piloto" y representan una cierta proporción del número total de celdas.

Lista de parámetros	Modos de robustez			
	A	B	C	D
$T$ ( $\mu$ s)	$83^{1/3}$	$83^{1/3}$	$83^{1/3}$	$83^{1/3}$
$T_u$ (ms)	$\frac{24}{(288 \times T)}$	$\frac{21^{1/3}}{(256 \times T)}$	$\frac{14^{2/3}}{(176 \times T)}$	$\frac{9^{1/3}}{(112 \times T)}$
$T_g$ (ms)	$\frac{2^{2/3}}{(32 \times T)}$	$\frac{5^{1/3}}{(64 \times T)}$	$\frac{5^{1/3}}{(64 \times T)}$	$\frac{7^{1/3}}{(88 \times T)}$
$T_g / T_u$	1/9	1/4	4/11	11/14
$T_s = T_u + T_g$ (ms)	$26^{2/3}$	$26^{2/3}$	20	$16^{2/3}$
$T_f$ (ms)	400	400	400	400

**Tabla 2.24: Parámetros de símbolos OFDM**

Durante cada segmento de tiempo, las subportadoras se modulan con datos codificados. El número de bits transmitidos por cada subportadora depende de la clase de modulación usada (ej., 2 bits con 4-QAM, 4 bits con 16-QAM, y 6 bits con 64-QAM). El modo define la duración del símbolo y con ello la separación de las portadoras OFDM, ya que están separadas a la inversa del periodo de símbolo.

## 2.2.7 CODIFICACIÓN DE FUENTE



**Figura 2.30: Codificación fuente en el sistema DRM**

Dentro de las necesidades de regulación de la radiodifusión en canales de transmisión debajo de 30 MHz, los parámetros de codificación y el esquema de modulación aplicado, la tasa de bit disponible para la codificación de fuente está en el rango de 8 kbps (para canales medios), 20 kbps (para canales normales) o 72 kbps (para canales dobles).

La eficiencia de la codificación de fuente tiene que ser muy alta para lograr una buena calidad de audio. Un requisito para los codificadores de fuente es que ellos también tienen que trabajar en los canales propensos al error, debido a que los sistemas de transmisión inalámbricos nunca obtienen transmisiones libres de error. Basado en varias pruebas dentro del consorcio DRM, realizadas en parte junto con MPEG, se escogieron los algoritmos de codificación de voz y audio que son parte del estándar MPEG-4, que entregan óptima calidad de sonido a una tasa de bit dada. Los mismos se describen a continuación:

- Codificación MPEG-4 AAC, incluye las herramientas de robustez de error para la radiodifusión de audio mono y estéreo;
- Codificación de MPEG-4 CELP<sup>26</sup>, codifica muestras de voz para robustecer el error de transmisión de voz sólo en mono, cuando se dispone una baja tasa de bits o especialmente se requiere una alta robustez de error;

<sup>26</sup> CELP: Code Excited Linear Prediction (Código Excitado por Predicción Lineal).

- Codificación de MPEG-4 HVXC<sup>27</sup>, codifica muestras de voz para una tasa de bits muy baja y da mayor robustez de error de transmisión de la voz en mono, especialmente preparado para las aplicaciones de base de datos de muestras de voz, transmisión de varios programas sólo de voz.
- Réplica de Banda Espectral (SBR), mejora la codificación del audio ya que aumenta el ancho de banda del audio percibido a todo el ancho de banda de audio, a bajas tasas de bit. Puede aplicarse a AAC, CELP y HVXC;
- Estéreo Paramétrico (PS), herramienta que mejora la codificación de audio pertinente a SBR. Permite la codificación estéreo a bajas tasas de bit.

El formato de transporte de secuencias de bits de todos los esquemas de codificación de fuente se ha modificado para reunir los requisitos de DRM (supertrama de audio). La protección del error desigual (UEP, por sus siglas en inglés) puede aplicarse para mejorar el comportamiento del sistema en los canales propensos al error.

### **2.2.7.1 Características de los diferentes tipos de codificación**

#### ***2.2.7.1.1 Codificación de audio MPEG AAC***

La codificación AAC usa el principio de que el cerebro humano no puede percibir todos los sonidos que capta el oído. Un sonido fuerte a una frecuencia particular dominará sobre los sonidos más débiles en las frecuencias cercanas. AAC analiza el espectro de audio y sólo codifica los sonidos que el cerebro puede percibir.

Las características específicas de la secuencia AAC dentro del sistema DRM son:

- Tasa de bit: AAC puede usarse a cualquier tasa de bit.
- Tasa de muestreo: las tasas de muestreo permitidas son 12 kHz y 24 kHz.
- Longitud Transformada: una trama de audio debe corresponder a 80 ms o 40 ms en el tiempo. Esto se exige para lograr armonizar las longitudes de las tramas CELP y AAC y así permitir la combinación de un número entero

---

<sup>27</sup> HVXC: Harmonic Vector Excitation Coding (Codificación por Vector de Excitación Armónico).

de tramas de audio para construir una supertrama de audio de 400 ms de duración, por tanto la longitud de transformada a utilizarse es 960.

- La robustez del error: un subconjunto de herramientas de MPEG-4 mejora la robustez de error de la secuencia de bits AAC en los canales propensos al error, las cuales son: HCR (Huffman Codeword Reordering), VCB11 (Virtual Codebooks for Codebook 11) y RVLC (Reversible Variable Length Coding). El sistema más usado es HCR debido a que reduce la presencia de errores significativamente agregando un mínimo de información no útil. VCB11 también se utiliza cuando se trabaja con tasas de bit bajas, ya que la información no útil que agrega no es significativa en comparación con el sistema RVLC, que por éste hecho está en desuso.
- Supertrama de audio: Una supertrama de audio se compone por 5 (12 kHz) o 10 (24 kHz) tramas de audio, que siempre corresponde a 400 ms en el tiempo. Las tramas de audio se codifican juntas en supertramas, tal que cada supertrama de audio es de longitud constante. Una supertrama de audio siempre se coloca en una trama lógica. Una trama lógica contiene datos de una secuencia de 400 ms de duración. La recuperación de los límites de trama y provisiones para UEP también se toman con cuidado dentro de una supertrama de audio.
- Modelo psicoacústico: elimina la información (sonido, en este caso) que el oído humano no es capaz de percibir. Sólo las partes de las señales que se perciben se transmiten, de este modo se elimina redundancia.
- UEP: aplicando UEP al flujo de bits AAC se logra una mejor degradación natural y un mejor funcionamiento a más alto BER. La UEP comprende las unidades de multiplexación/codificación y se explica más adelante.

Mediante la codificación AAC no es posible obtener señales de alta calidad ya que no proporciona suficiente compresión de datos para habilitar las transmisiones dentro del ancho de banda estrecho de la transmisión requerida, por lo que es necesario el complemento de otras técnicas que permitan la transmisión de la parte alta del espectro de audio (de 6 a 15 kHz) y la compresión de datos adicional requerida, para ello se combina este esquema con la Réplica de Banda Espectral SBR. La señal combinada AAC + SBR requiere alrededor de 20 kbps.

### ***2.2.7.1.2 Codificación MPEG CELP***

La codificación MPEG CELP dentro del sistema DRM permite una calidad razonable de voz a tasas de bit restringidas significativamente por debajo de la tasa normal o donde se requiere una alta robustez de señal. Posibles situaciones para el uso de este codificador de voz son:

- Aplicaciones de voz dual/triple: en lugar de 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. Es de gran interés en la radiodifusión internacional.
- Servicios de voz además del servicio de audio.
- Transmisiones simulcast: se dispone de tasas de bits bajas como 8 kbps.
- Aplicaciones de voz muy robustas: debido a su naturaleza puede esperarse que un codificador de voz ofrezca la más alta robustez contra los errores del canal. Por consiguiente pueden usarse 8 kbps de codificación de voz para hacerla exageradamente robusta en un canal.

Las características básicas de la codificación MPEG CELP son:

- Tasas de muestreo de 8 kHz o 16 kHz;
- Tasas de bit entre 4 kbps y 20 kbps;
- La robustez del error;
- La composición de un número entero de tramas CELP para construir una supertrama de audio.

### ***2.2.7.1.3 Codificación MPEG HVXC***

Se ofrece en el sistema DRM la codificación de voz MPEG-4 HVXC para permitir una calidad de voz razonable a tasas de bit tan bajas como 2 kbps. Las tasas de bit operativas de HVXC abren nuevas aplicaciones para DRM como:

- Servicios de voz además del servicio de audio.

- Aplicación multi-idioma.
- El almacenamiento de múltiples programas como noticias, base de datos, en una tarjeta de radio (ej., el total de aproximadamente 4.5 horas de programas de radio puede guardarse en 4 MB de memoria flash).
- La modificación de la escala de tiempo para una rápida reproducción/navegación de programa guardado.
- Un esquema de protección contra errores de transmisión muy robusto con o sin esquema de modulación jerárquica.

Las características básicas de la codificación HVXC son:

- Tasa de muestreo de 8 kHz;
- Tasas de bit de 2 kbps y 4 kbps para una tasa de codificación fija;
- Modificación de la escala de tiempo y de tono.
- Se usa la herramienta CRC<sup>28</sup> para mejorar la flexibilidad de error del flujo de bits HVXC en canales propensos al error;
- La composición de un número entero constante de tramas HVXC para construir una supertrama de audio.

#### ***2.2.7.1.4 Codificación de Réplica de Banda Espectral (SBR)***

La SBR es la codificación principal del sistema DRM. Mejora la calidad de audio percibida mediante una técnica de frecuencia de banda base más alta que utiliza información de las frecuencias más bajas como señales de aviso. Para mantener una calidad razonable del audio percibido a bajas tasas de bit, el audio clásico o los algoritmos de codificación de fuente de voz necesitan limitar el ancho de banda del audio y operar a bajas tasas de muestreo. Es deseable también poder ofrecer un ancho de banda más alto en ambientes de tasas de bit muy bajas.

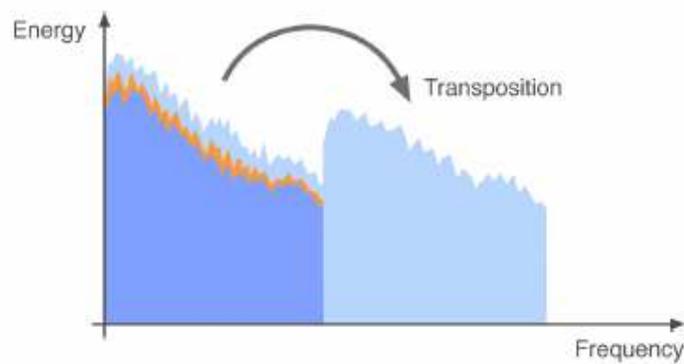
El propósito de SBR es recrear la banda de alta frecuencia perdida de la señal de audio que no pudo codificarse en el codificador, ya que éste solo es responsable

---

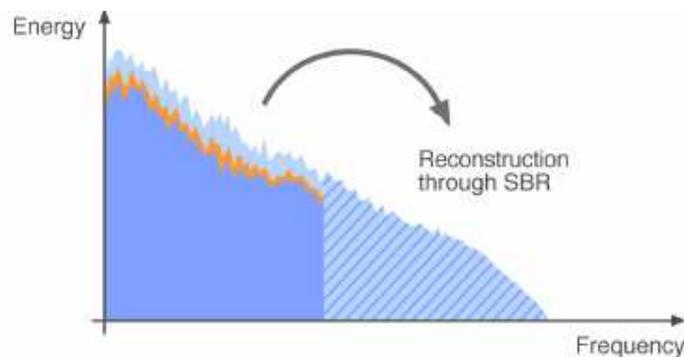
<sup>28</sup> CRC: Cyclic Redundancy Code (Código de Redundancia Cíclica).

de transmitir la parte más baja del espectro. En lugar de transmitir una parte del espectro, SBR reconstruye las frecuencias más altas en el decodificador basándose en un análisis de las frecuencias más bajas transmitidas por el códec, considerando el hecho de que las bandas altas y bajas del espectro en una señal de audio tienen una estrecha correlación.

Para asegurar una reconstrucción exacta, se necesita transmitir información guía auxiliar en la secuencia de bits de audio codificada a una tasa de datos muy baja, quitando un pequeño porcentaje de la tasa de datos disponible del codificador de audio. Esta información guía se estima en el ancho de banda total de la señal, previo a la codificación y ayuda a la reconstrucción de las altas frecuencias después de la decodificación del audio/voz. La idea básica detrás de SBR puede observarse en las figuras 2.31 y 2.32:



**Figura 2.31: Análisis de la región de baja frecuencia**



**Figura 2.32: Reconstrucción de la banda de alta frecuencia, en base a la información de la banda de baja frecuencia**

La técnica de replicación de banda espectral reconstruye los sonidos situados en la banda superior de audio, que son generalmente:

- Del tipo ruido (instrumentos de percusión, silbidos).
- Periódicos y relacionados con los que aparecen en la parte baja del espectro (armónicos de instrumentos y sonidos vocales).

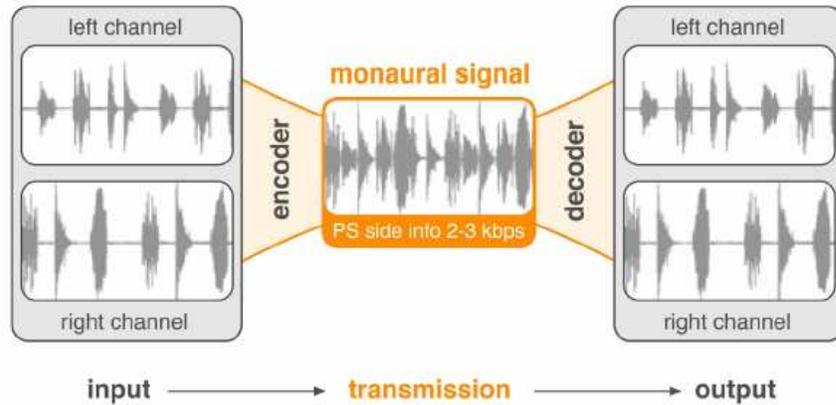
SBR también se usa en las configuraciones CELP + SBR y HVXC + SBR.

#### ***2.2.7.1.5 Codificación Estéreo Paramétrico (PS)***

El codificador PS extrae una representación paramétrica de la imagen estéreo de una señal de audio, considerando que sólo se codifica de manera convencional una representación monofónica de la señal original (suma de los canales izquierdo y derecho).

La información de la imagen estéreo se representa como una pequeña cantidad de información Estéreo Paramétrica de alta calidad y se transmite junto con la señal monofónica en la secuencia de bits. Esta información guía estéreo es muy concisa y sólo requiere una pequeña fracción de la tasa de bit total, lo que le permite a la señal mono tener la máxima calidad por la tasa de bit total dada. Basado en la información estéreo paramétrica, el decodificador es capaz de regenerar la imagen estéreo.

La síntesis estéreo en el decodificador reconstruye las propiedades espaciales pero no afecta la energía espectral total. La tasa de bit designada para aplicar la codificación PS en AAC + SBR es preferentemente cualquier rango de tasa de bit donde no puede aplicarse el estéreo tradicional. La figura 2.33 muestra el proceso de la codificación PS.



**Figura 2.33: Codificación paramétrica de estéreo**

Como resultado, la calidad del audio percibido de una secuencia de bits de audio a una baja tasa de bit que incorpora el PS es significativamente superior comparada a la calidad de una secuencia de bits similar sin el mismo, ya que permite una buena calidad estéreo debajo de 24 kbps.

El objetivo de las tasas de bit diseñadas para aplicar la codificación estéreo paramétrica a AAC + SBR están en el rango de 18 kbps a 26 kbps, sin embargo la técnica puede usarse a cualquier tasa de bit. Al aplicar PS en AAC + SBR a 24 kbps las distribuciones promedio de tasas de bit serán típicamente:

- 22,8 kbps en datos centrales (AAC + SBR); y
- 1,2 kbps en datos PS para señales estéreo.

Para señales mono puras los datos PS tomarán sólo 0,05 kbps y no ocurrirá ninguna degradación significativa de la señal mono.

#### **2.2.7.1.6 Protección Desigual de Error (UEP)**

La codificación de canal debe optimizarse a fin de que la cantidad total de errores residuales, o tasa de error de bit (BER) se minimice. Este criterio puede cumplirse con un método de codificación de canal llamado Protección Igual de Error (EEP, por sus siglas en inglés), donde todos los bits de información se protegen con la misma cantidad de redundancia empleando un solo código de canal.

Sin embargo, los formatos de secuencias de bits implican una jerarquía en bits por lo que se refiere a la influencia de cada bit en la calidad decodificada. Por ejemplo, algunos bits agregan la información de alta frecuencia, otros agregan la información estéreo, etc. También se conoce que, en más secuencias de bits de la fuente, los bits individuales también tienen un perfil desigual en lo que se refiere a la sensibilidad de error de bit, es decir, el grado de pérdida de calidad cuando un bit particular se decodifica con un error. La solución optimizada para cubrir esta sensibilidad de error desigual se llama Protección Desigual del Error (UEP). En tal sistema, se asigna la más alta protección a la información más sensible, considerando que se asigna una protección más baja a la parte menos sensible de la secuencia de bits.

Para acomodar la codificación de canal UEP, es necesario tener tramas con una longitud constante y un perfil UEP también constante para una tasa de bit dada. Puesto que AAC es un esquema de codificación de longitud variable, algunas tramas codificadas se agrupan para construir una supertrama de audio. La tasa de bit de la supertrama de audio es constante. Ya que la codificación de canal se basa en las supertramas de audio, éstas consisten en dos partes: una parte más protegida y una parte menos protegida. Por consiguiente, las tramas de audio codificadas tienen que ser divididas en dos partes. Cabe destacar que la codificación HVXC está limitada a utilizar el esquema EEP.

#### **2.2.7.2 Supertramas de audio**

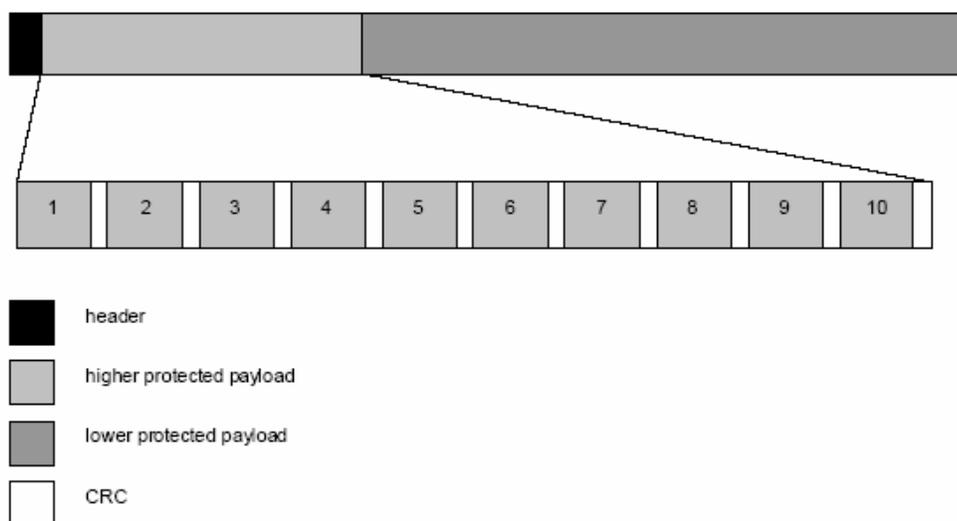
Las supertramas de audio se refieren a la organización que tienen los datos en formatos definidos para su procesamiento posterior en el múltiplex. Dependiendo de la codificación utilizada tienen diferentes formas, a continuación se hace un análisis de las mismas.

##### ***2.2.7.2.1 Supertramas de audio AAC***

La supertrama de audio AAC se forma por el encabezado, la parte más protegida, la parte menos protegida y el CRC.

El encabezado contiene la información para recuperar las longitudes de las tramas AAC guardadas en la supertrama de audio. Todas las longitudes de las tramas se derivan de las posiciones absolutas de los límites de la trama. Estos límites se guardan consecutivamente en el encabezado. Cada límite de la trama ocupa 12 bits (enteros sin signo) y es medido (en bytes) desde la salida de la secuencia de flujo de bits AAC. Se agregan 4 bits de relleno en caso de ser necesario. Los límites de trama se guardan en el encabezado.

Los bytes menos protegidos (los bytes restantes no guardados en la parte más protegida) de las tramas AAC se guardan consecutivamente en la parte menos protegida. Continúa un chequeo CRC de 8 bits de la trama AAC respectiva. La figura 2.34 ilustra una supertrama de audio para una señal muestreada a 24 kHz.



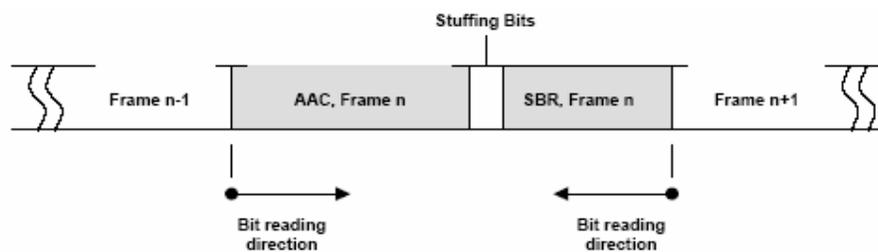
**Figura 2.34: Supertrama de audio AAC (24 kHz)**

### *Sistema AAC + SBR*

Incluso con los adelantos hechos, es difícil entregar una calidad de sonido "como FM" usando sólo AAC a tasas de bit muy bajas, sin introducir artificios audibles. Los resultados son mejores si AAC se usa para entregar un ancho de banda más modesto, pero esto significaría fallar en el objetivo de lograr un aumento notable en el ancho de banda del audio comparado con AM.

La solución a esto se encuentra en la combinación de AAC con la técnica SBR. La técnica SBR sintetiza los sonidos que caen dentro de las frecuencias más altas.

La tasa de muestreo SBR es dos veces la tasa de muestreo AAC. Una trama AAC + SBR contiene una parte AAC y una parte SBR. La parte SBR de datos se localiza al final de la trama. El primer bit en la secuencia de bits SBR es el último bit en la trama, y los bits de SBR son escritos/leídos en orden invertido. De esta manera, siempre se encuentran de manera fácil los puntos de partida de la parte respectiva a la trama de datos.



**Figura 2.35: Trama AAC + SBR**

Los tamaños de datos AAC y SBR varían de trama a trama. Las tramas AAC + SBR se insertan en la supertrama de audio de la misma manera como cuando no se usa SBR. Para tasas de bit de codificación de fuente mayores o igual a 20 kbps, se usará SBR. Para las tasas de bit debajo de 20 kbps, SBR puede usarse opcionalmente.

#### **2.2.7.2.2 Supertrama de audio CELP**

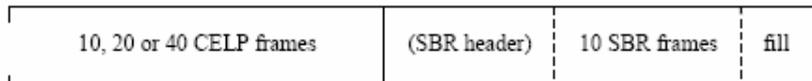
El MPEG-4 CELP cubre la compresión y decodificación del sonido natural de voz a tasas de bit que van entre 4 kbps y 24 kbps. Los codificadores CELP convencionales ofrecen compresión a una única tasa de bit y se perfeccionan para aplicaciones específicas. La compresión es una de las funcionalidades proporcionadas por MPEG-4 CELP. Proporciona escalabilidad en la tasa de bit y ancho de banda, así como la habilidad de generar flujos de bits y tasas de bit arbitrarias. El codificador MPEG-4 CELP soporta dos tasas de muestreo, 8 kHz y 16 kHz. Los anchos de banda asociados son 100 Hz a 3800 Hz para un muestreo a 8 kHz, y 50 Hz a 7000 Hz para 16 kHz de muestreo.

En DRM el codificador CELP trabaja con la funcionalidad de ofrecer múltiples tasas de codificación dependiendo de la frecuencia de muestreo<sup>29</sup>.

Las tramas CELP tienen una longitud de trama fija. Las tramas de audio CELP se agrupan para formar supertramas de audio de 400 ms de duración. La codificación UEP es aplicable. El inicio de cada trama de audio se asigna en la parte más protegida, los bits restantes se asignan a la parte menos protegida. La tasa de codificación de bits se indica dentro del campo SDC<sup>30</sup>.

#### *Sistema CELP + SBR*

La figura 2.36 muestra la composición de la supertrama de audio CELP + SBR. Sin tener en cuenta las longitudes de la trama CELP (10 ms, 20 ms o 40 ms), SBR emplea tramas de 40 ms.



**Figura 2.36: Vista general de una supertrama de audio CELP + SBR**

El número de bits por trama SBR es constante y no se usa la señalización de la ubicación de la trama dentro de la supertrama. Al finalizar la última trama SBR se inserta bits adicionales para lograr la alineación de byte. CELP + SBR ofrece una buena calidad de voz a 12 kbps.

#### **2.2.7.2.3 Supertrama de audio HVXC**

Proporciona una calidad de comunicación cercana a la calidad de la voz en la banda de 100 Hz a 3800 Hz a una tasa de muestreo de 8 kHz. Además, se mantiene la funcionalidad del cambio de tono y el cambio de velocidad durante la

<sup>29</sup> Para mayor información sobre los parámetros de CELP disponibles, refiérase a la especificación ETSI ES 201 980 V2.2.1 (2005)

<sup>30</sup> Referirse a la especificación ETSI ES 201 980.

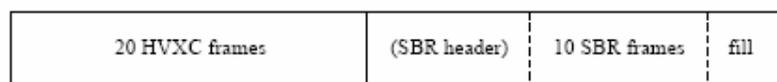
decodificación. Esta funcionalidad es útil para una rápida búsqueda o navegación en la base de datos de voz. HVXC tiene una sintaxis que proporciona categorías de sensibilidad de error que pueden usarse como una herramienta de robustez de error. Adicionalmente se mantiene la funcionalidad de supresión del error para el uso en los canales propensos al error.

DRM usa un subconjunto de HVXC, que se limita a la sintaxis de robustez del error y tasas de datos a 2 kbps y 4 kbps. La sintaxis de la supertrama de audio HVXC es idéntica para todos los posibles modos HVXC, no apoya la funcionalidad de UEP y la longitud de una trama de audio HVXC siempre es 20 ms.

En caso de que se fije la tasa a 4 kbps del codificador HVXC con la herramienta de CRC, los últimos 4 bits de cada supertrama de audio se rellenan con ceros y el receptor ignorará estos bits. Sólo las tasas de modos fijos de HVXC (2 kbps o 4 kbps) se usan en las supertramas de audio. Las tasas de modos variables pueden ser aplicables para usarse con las aplicaciones de modo de paquete en el futuro.

#### *Sistema HVXC + SBR*

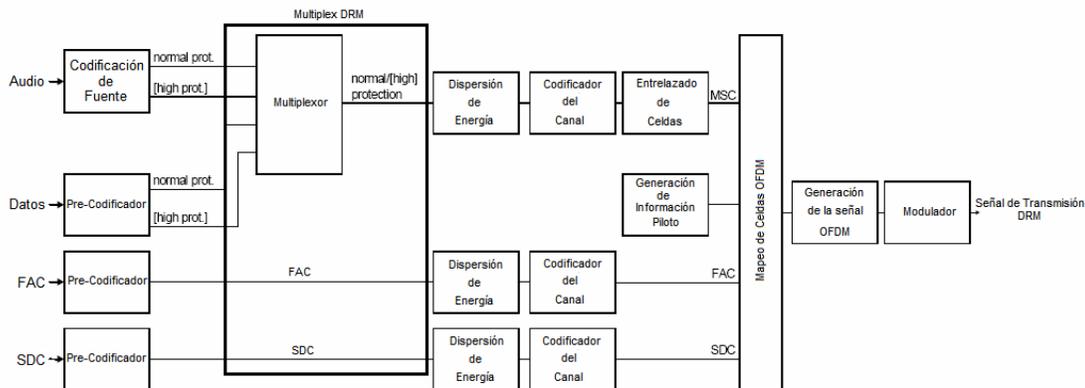
La figura 2.37 indica la estructura de la supertrama de audio HVXC + SBR. El núcleo de HVXC tiene longitudes de trama de 20 ms, cuando SBR emplea tramas de 40 ms. Así, dos tramas HVXC se asocian con cada trama SBR.



**Figura 2.37: Vista general de la supertrama de audio HVXC + SBR**

El número de bits por trama SBR es constante y no se usa una señalización de ubicación de trama dentro de la supertrama. Después del envío de la última trama SBR, se añaden bits adicionales para lograr la alineación de byte. HVXC + SBR ofrece una codificación de voz de banda ancha a 4 kbps.

## 2.2.8 MULTIPLEX DRM



**Figura 2.38: Diagrama de bloques del múltiplex DRM**

La transmisión en el sistema DRM requiere de un múltiplex para transportar un número de componentes de diferentes señales, los cuales en conjunto proveen la información necesaria para que el receptor sincronice la señal, determine los parámetros con los cuales se está trabajando y luego decodifique los servicios que se están transportando ya sea de datos o de audio.

El multiplex total DRM tiene que reunir diferentes requisitos. Por un lado debe permitir una rápida selección de servicio en todo el rango de frecuencias; y por otro, debe transmitir mucha información asociada con el programa. Por consiguiente se introducen tres canales lógicos en el multiplex: el Canal de Servicio Principal (MSC, por sus siglas en inglés), el Canal de Descripción de Servicio (SDC) y el Canal de Acceso Rápido (FAC). La combinación de estos tres canales forma lo que se llama el multiplex DRM.

### 2.2.8.1 Canal de Servicio Principal (MSC)

El MSC contiene los datos para todos los servicios contenidos en el multiplex DRM. El multiplex puede contener entre uno y cuatro servicios, y cada servicio puede ser de audio o de datos, la información del MSC se encuentran en todas las tramas de 400 ms. La totalidad de la tasa de bit del MSC es dependiente tanto del ancho de banda del canal DRM, así como del modo de transmisión.

### ***2.2.8.1.1 Estructura***

El MSC contiene entre uno y cuatro secuencias. Cada secuencia se divide en tramas lógicas, cada una de 400 ms de longitud. Las secuencias de audio comprenden audio comprimido y opcionalmente pueden llevar mensajes de texto. Las secuencias de datos pueden componerse de hasta cuatro "sub-secuencias" que consisten en paquetes de datos. Una sub-secuencia lleva los paquetes para un servicio. Un servicio de audio comprende una secuencia de audio y opcionalmente una secuencia de datos o una sub-secuencia de datos. Un servicio de datos comprende una secuencia de datos o una sub-secuencia de datos.

Cada trama lógica generalmente consiste de dos partes, cada una con su propio nivel de protección y cuyas longitudes se asignan de forma independiente. La UEP se proporciona para una secuencia poniendo diferentes niveles de protección a las dos partes.

La trama multiplex se construye tomando los datos de la parte más protegida de la trama lógica de la primera secuencia (de numeración más baja) y se pone al inicio de la trama multiplex. Luego se añaden los datos de la parte más protegida de la trama lógica de la segunda secuencia y así sucesivamente hasta que todas las secuencias se hayan transferido. Luego, los datos de la parte menos protegida de la trama lógica de la primera secuencia se añaden, seguidos por los datos de la parte menos protegida de la trama lógica de la siguiente secuencia, y así sucesivamente hasta que todas las secuencias se hayan transferido. La parte más protegida se designa como parte A y la parte menos protegida se designa como parte B en la descripción del multiplex<sup>31</sup>. Las tramas lógicas de todas las secuencias se asignan juntas para formar tramas multiplex de 400 ms de duración que se pasan a la codificación de canal.

La configuración del multiplex se señala usando el SDC. El multiplex puede ser reconfigurado en los límites de una supertrama de transmisión<sup>32</sup>.

---

<sup>31</sup> No se inserta ningún bit de relleno entre la parte A y la parte B.

<sup>32</sup> La supertrama de transmisión en DRM se compone de tres tramas de 400 ms.

### 2.2.8.1.2 Reconfiguración

Una reconfiguración del múltiplex ocurre cuando se cambian los parámetros del canal en el FAC, o cuando se reorganizan los servicios en el multiplex. La nueva configuración se señala de forma adelantada en el SDC, la temporización de este cambio se indica mediante el índice de reconfiguración en el FAC.

### 2.2.8.2 Canal de Acceso Rápido (FAC)

El FAC proporciona información sobre el ancho de banda de la señal y otros parámetros y también se utiliza para permitir la exploración rápida de la información de selección de servicio. Contiene información sobre los parámetros del canal (ej., la ocupación del espectro y la profundidad de entrelazado) para que un receptor pueda empezar a decodificar el multiplex eficazmente. También contiene información sobre los servicios del múltiplex que le permite al receptor decodificar la misma frecuencia o cambiarla y buscar de nuevo. 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.

#### 2.2.8.2.1 Estructura

Cada trama de transmisión tiene un bloque FAC que contiene parámetros que describen al canal y parámetros para describir un servicio, además de un campo para el chequeo CRC. Los parámetros de canal se incluyen en cada trama FAC. Los parámetros de servicio se transportan en tramas FAC sucesivas, un servicio por trama. Cuando más de un servicio se lleva en el multiplex, se requieren varios bloques FAC para describir todos los servicios.

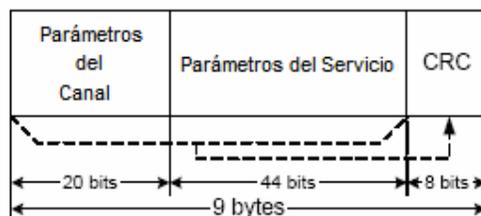


Figura 2.39: Canal de acceso rápido FAC

### 2.2.8.2.2 Parámetros del canal

Los parámetros del canal son como sigue:

Descripción del Campo	Número de bits
1. Bandera Básica/Mejorada	1
2. Identidad	2
3. Ocupación del espectro	4
4. Bandera de profundidad de entrelazado	1
5. Modo MSC	2
6. Modo SDC	1
7. Número de servicios	4
8. Índice de reconfiguración	3
9. Rfu <sup>33</sup>	2

**Tabla 2.25: Parámetros del canal FAC**

Todo el conjunto de estos parámetros utilizan un total de 20 bits. Se aplican las siguientes definiciones:

1. La bandera Básica/Mejorada indica:

- En transmisión básica (decodificable por todos los receptores DRM, bit= 0).
- Si la transmisión es mejorada (sólo decodificable por receptores con las capacidades de capa mejorada, bit = 1).

2. El parámetro Identidad es un campo que identifica la trama actual y también valida los índices del campo SDC AFS<sup>34</sup>. Puede tomar los siguientes valores:

- 00: Primer FAC de la transmisión de supertrama e índice AFS válido.
- 01: Segundo FAC de la transmisión de la supertrama.
- 10: Tercer FAC de la transmisión de la supertrama.
- 11: Primer FAC de la transmisión de supertrama e índice AFS inválido.

3. La ocupación del espectro especifica la configuración de la señal digital, se define mediante 4 bits.

<sup>33</sup> Rfu: bits reservados para uso futuro.

<sup>34</sup> AFS: Selección y Conmutación de Frecuencias Alternativas.

4. La bandera de profundidad de entrelazado<sup>35</sup> indica la profundidad del tiempo de entrelazado, se define de la siguiente manera:

- De 2 segundos para el entrelazado largo (bit "0").
- De 400 ms para el entrelazado corto (bit "1").

5. El modo MSC indica el modo de mapeo en uso para el MSC que puede ser tanto 64 QAM como 16 QAM, se define mediante dos bits de la siguiente manera:

- 00: 64-QAM, no jerárquica.
- 01: 64-QAM, jerárquica sobre I.
- 10: 64-QAM, jerárquica sobre I y Q.
- 11: 16-QAM, no jerárquica.

6. El modo SDC indica el modo de modulación en uso para el SDC que puede ser, dependiendo del modo MSC de:

- 0: 4-QAM
- 1: 16-QAM

7. El número de servicios indica cuántos servicios de audio y/o datos se disponen en la configuración, consta de 4 bits que se configuran de la siguiente manera:

- 0000: 4 servicios de audio.
- 0001: 1 servicio de datos.
- 0010: 2 servicios de datos.
- 0011: 3 servicios de datos.
- 0100: 1 servicio de audio.
- 0101: 1 servicio de audio y un servicio de datos.
- 0110: 1 servicio de datos y 2 servicios de datos.
- 0111: 1 servicio de datos y 3 servicios de datos.

---

<sup>35</sup> Técnica que proporciona mayor robustez para canales con dispersión en tiempo y en frecuencia.

- 1000: 2 servicios de audio.
- 1001: 2 servicios de audio y un servicio de datos.
- 1010: 2 servicios de audio y 2 servicios de datos.
- 1011: Reservado.
- 1100: 3 servicios de audio.
- 1101: 3 servicios de audio y un servicio de datos.
- 1110: Reservado.
- 1111: 4 servicios de datos.

8. El índice de reconfiguración indica la temporización de una reconfiguración del multiplex, definiendo el número de supertramas de transmisión que conservarán la configuración anterior.

9. El campo Rfu se reserva para uso futuro y se pone a cero hasta que se defina.

#### **2.2.8.2.3 Parámetros de servicio**

Los parámetros de servicio se definen de la siguiente manera:

<b>Descripción del campo</b>	<b>Número de bits</b>
1. Identificador de servicio	24
2. Identificador abreviado	2
3. Indicación de acceso condicional CA	1
4. Idioma	4
5. Bandera Audio/Datos	1
6. Descriptor de servicio	5
7. Indicación de datos CA	1
8. Rfu	6

**Tabla 2.26: Parámetros de servicio**

1. El identificador de servicio es el único campo identificador para un servicio.
2. El identificador abreviado indica el nombre corto asignado a un servicio y se usa como una referencia en el SDC. El identificador abreviado se asigna en toda la duración del servicio y se mantiene a través de las reconfiguraciones del múltiplex.

3. La indicación de audio CA<sup>36</sup> indica si el servicio utiliza el acceso condicional en la parte de audio. Si el bit es "0", el servicio no tiene ninguna secuencia de audio, si es "1", hay una secuencia de audio. Cada receptor DRM verificará el bit de "indicación de audio CA" antes de presentar la secuencia de audio del servicio de audio.

4. El campo de idioma indica el idioma del público designado, éste campo consta de cuatro bits los cuales se configuran de la siguiente manera:

Número decimal	Idioma	Número decimal	Idioma
0-(0000)	Idioma no especificado	8-(1000)	Hindú
1-(0001)	Árabe	9-(1001)	Japonés
2-(0010)	Bengalí	10-(1010)	Javanés
3-(0011)	Chino (mandarín)	11-(1011)	Koreano
4-(0100)	Holandés	12-(1100)	Portugués
5-(0101)	Inglés	13-(1101)	Ruso
6-(0110)	Francés	14-(1110)	Español
7-(0111)	Alemán	15-(1111)	Otro idioma

**Tabla 2.27: Campo de idioma**

Los idiomas también se indican por la entidad de datos SDC tipo 12.

5. La bandera audio/dato indica:

- Si el servicio es de audio (bit "0")
- Si el servicio es de datos (bit "1")

6. El descriptor de servicio depende del valor de la bandera audio/dato ya que si ésta es "0" indica un tipo de programa, o si es "1" señala un identificador de la aplicación. Sin tener en cuenta el valor de la bandera de audio/dato, el valor 31 (todos los bits puestos a 1) indica que un receptor DRM estándar debe saltar esta transmisión y debe continuar examinando los servicios. El tipo de programa es un campo de 5 bits que indica el tipo de programa de un servicio de audio como se define en la tabla 2.28:

<sup>36</sup> CA: Conditional Access (Acceso condicional).

Número decimal	Tipo de programa	Número decimal	Tipo de programa
0	Ningún tipo de programa	16	Tiempo/meteorología
1	Noticias	17	Finanzas/Negocios
2	Asuntos de actualidad	18	Programas infantiles
3	Información	19	Asuntos sociales
4	Deportes	20	Religión
5	Educación	21	Con teléfono
6	Drama	22	Camino
7	Cultura	23	Ocio
8	Ciencia	24	Música jazz
9	Variedad	25	Música country
10	Música pop	26	Música nacional
11	Música rock	27	Música antigua
12	Música de escucha fácil	28	Música folklórica
13	Clásica ligera	29	Documentales
14	Clásica seria	30	No usado
15	Otra música	31	No usado

**Tabla 2.28: Tipo de programa**

El identificador de la aplicación es un campo de 5 bits e indica el identificador de la aplicación de un servicio de datos. Las configuraciones de este campo se acogen a los parámetros descritos en la especificación ETSI 101 968<sup>37</sup>.

7. La indicación de datos CA indica si el servicio usa el acceso condicional, si el bit es "0" el servicio no tiene ninguna secuencia/subsecuencia de datos, o si es "1" existe una secuencia/subsecuencia de datos. Cada receptor DRM verificará los bits "Indicación de datos CA" antes de presentar la secuencia/subsecuencia de los servicios de datos o de audio. Un receptor DRM que no soporte CA no intentará decodificar la secuencia/subsecuencia de datos si la "Indicación de datos CA" se pone a 1.

8. El campo Rfu se reserva para uso futuro y se pondrá a cero hasta usarlo.

#### 2.2.8.2.4 CRC

La codificación de redundancia cíclica se aplicará sobre los campos referentes a los parámetros del canal y los parámetros del servicio aplicando el siguiente polinomio generador  $G(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$ .

<sup>37</sup> La especificación ETSI TS 101 968 detalla un directorio de aplicaciones de datos.

### 2.2.8.2.5 Repetición FAC

Los parámetros del canal FAC se enviarán en cada bloque FAC. Cuando hay más de un servicio en el multiplex, el patrón de repetición es significativo al tiempo de examinación del receptor. Cuando todos los servicios son del mismo tipo (ej., todos de audio o datos) entonces los servicios se señalarán de forma secuencial.

En una mezcla de servicios se presentan los siguientes patrones de repetición:

Número de servicios de audio	Número de servicios de datos	Patrón de repetición
1	1	A1A1A1A1D1
1	2	A1A1A1A1D1A1A1A1A1D2
1	3	A1A1A1A1D1A1A1A1A1D2A1A1A1A1D3
2	1	A1A2A1A2D1
2	2	A1A2A1A2D1A1A2A1A2D2
3	1	A1A2A3A1A2A3D1

**Tabla 2.29: Patrones de repetición del FAC**

Donde A en la tabla define un servicio de audio y D define un servicio de datos.

### 2.2.8.3 Canal de Descripción del Servicio (SDC)

El SDC proporciona la información de cómo decodificar el MSC, cómo encontrar fuentes alternativas de los mismos datos y da los atributos a los servicios dentro del multiplex. Puede lograrse la verificación de frecuencias alternativas, sin la pérdida del servicio, guardando los datos llevados en la SDC de manera casi estática. Por consiguiente, los datos en las tramas SDC tienen que ser manejados cuidadosamente.

La capacidad del SDC varía con la ocupación del espectro del multiplex y del modo de robustez; consiste de tres símbolos OFDM en una supertrama de transmisión de 1200 ms. La capacidad del SDC también puede aumentarse haciendo uso del índice AFS. El contenido del SDC se divide en entidades de datos con tamaño variable.

### 2.2.8.3.1 Estructura

El SDC se trata como un único canal de datos. La cantidad total de datos para ser enviados puede requerir más de un solo bloque SDC. Un índice AFS se proporciona para permitirle al receptor saber cuando la próxima ocurrencia del actual bloque SDC se transmitirá, y así permitir la función de verificación y cambio de frecuencias alternativas AFS que se explica más adelante. Una función de validez se proporciona en el FAC para indicar si el índice AFS es válido o no, indicando al receptor cuando la función de AFS puede operar.

El bloque SDC se estructura de la siguiente manera:

- Índice AFS            4 bits
- Campo de datos     $n$  bytes
- CRC                 16 bits
- Bits de Relleno    0 a 7 bits

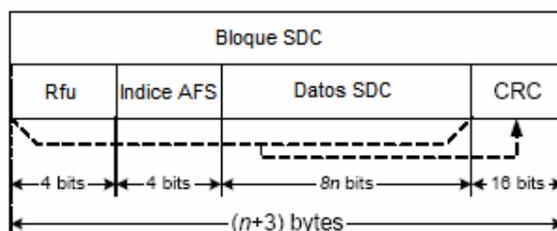


Figura 2.40: Canal de Descripción de Servicio SDC

#### 2.2.8.3.1.1 Índice AFS

El índice AFS es un número binario sin signo en el rango del 0 al 15, que indica el número de supertramas de transmisión que separan el bloque SDC actual del próximo, con idéntico contenido cuando el campo de identidad en el FAC se pone en 00<sup>38</sup>. El índice AFS será idéntico para todos los bloques SDC. Este índice puede cambiarse en la reconfiguración.

<sup>38</sup> Este valor identifica el primer FAC de la supertrama de transmisión y alerta una configuración AFS válida.

### 2.2.8.3.1.2 Datos SDC

El campo de datos lleva un número variable de entidades de datos. Puede contener un marcador de fin y de relleno. La longitud del campo de datos depende del modo de robustez, del modo del SDC y de la ocupación del espectro; los cuales se visualizan en la tabla 2.30:

Modo de robustez	Modo SDC	Longitud del campo de datos (bytes)					
		Ancho de banda del canal [kHz]					
		4,5	5	9	10	18	20
A	0	37	43	85	97	184	207
	1	17	20	41	47	91	102
B	0	28	33	66	76	143	161
	1	13	15	32	37	70	79
C	0	-	-	-	68	-	147
	1	-	-	-	32	-	72
D	0	-	-	-	33	-	78
	1	-	-	-	15	-	38

**Tabla 2.30: Longitud del campo de datos de SDC**

#### *Entidades de datos*

El campo de datos del SDC se llena con entidades de datos. Cada entidad de datos tiene un encabezado de 12 bits y un cuerpo de longitud variable. El encabezado tiene el siguiente formato:

Descripción del Campo	Número de bits
1. Longitud del cuerpo	7
2. Bandera de versión	1
3. Tipo de entidad de datos	4

**Tabla 2.31: Encabezado SDC**

1. La longitud de cuerpo da el número de bytes enteros ocupados por el cuerpo de entidad de datos.

2. La bandera de versión controla el manejo de los datos en el receptor. Este campo especifica tres mecanismos para manejar los datos en el receptor, el

mecanismo que se usa se especifica por cada entidad de datos. A continuación se describen brevemente estos mecanismos:

- Reconfiguración: Para entidades que usan este mecanismo, la bandera de versión indica si los datos son para la actual (bit = 0) o la siguiente (bit = 1) configuración.
- Lista: Para entidades que usan este mecanismo, la bandera de versión indica la versión de la lista. Cuando se cambia cualquier dato de la lista, la bandera se invierte y los datos existentes en el receptor se descartan.
- Único: Para entidades que utilizan este mecanismo, la bandera de versión no tiene significado y se selecciona en bit = 0.

3. El tipo de entidad de datos es un número que determina la identidad de la entidad de los datos.

El cuerpo de la identidad de datos debe ser como mínimo de 4 bits de longitud, y su longitud debe ser anunciada por el encabezado. La especificación DRM define trece entidades de datos, a continuación se define cada una de ellas:

Entidad de datos	Función	Mecanismo de la bandera de versión
0	Descripción del múltiplex	Reconfiguración
1	Etiqueta	Único
2	Parámetros de acceso condicional	Reconfiguración
3	Señalización de frecuencias alternativas: Definición de las redes de múltiples frecuencias	Lista
4	Señalización de frecuencias alternativas: horario de transmisión	Lista
5	Información de la aplicación	Reconfiguración
6	Anuncios soportados y conmutación	Lista
7	Señalización de frecuencias alternativas: Definición de la región	Lista
8	Información de fecha y hora	Único
9	Información del audio	Reconfiguración
10	Parámetros del canal FAC	Reconfiguración
11	Señalización de frecuencias alternativas: Definición de otros servicios	Lista
12	Información del lenguaje y país	Único

**Tabla 2.32: Tipos entidades de datos**<sup>39</sup>

<sup>39</sup> Para mayor información de las entidades de datos ver especificación ETSI ES 201 980 V2.2.1

### **2.2.8.3.1.3 CRC**

El campo CRC contendrá una palabra de 16 bits calculado sobre el índice AFS y el campo de datos. Usará el polinomio generador  $G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ .

A menudo se necesita incluir bits de relleno para completar la transmisión de una supertrama, el valor concreto que tome depende del modo de robustez que se defina, del modo del SDC y de la ocupación del espectro. Estos bits se configuran en cero, lo que los hace ser ignorados en recepción, los mismos se encuentran en el rango 0 a 7.

### **2.2.8.3.2 Cambiando el contenido del SDC**

El contenido del SDC es importante para el funcionamiento del AFS. Para su funcionamiento, el receptor debe saber lo que tiene el contenido del SDC de antemano para que pueda realizarse una correlación. Para este propósito, el índice AFS se proporciona en el SDC, y el FAC lo valida en su campo de identidad.

En las transmisiones sin las frecuencias alternativas, el contenido del SDC puede ser totalmente dinámico y puede cambiar a voluntad. En este caso se recomienda que el índice AFS sea 0, y el campo de identidad en el FAC debe indicar la secuencia 11, 01, 10, para indicar que la función de AFS no puede realizarse.

En las transmisiones con frecuencias alternativas, la asignación de las entidades de datos a los bloques SDC debe hacerse cuidadosamente para que el contenido del SDC pueda ser tan estático como sea posible, de este modo permite el uso de la función AFS. En este caso se recomienda que el índice AFS sea escogido tal que toda la información requerida pueda enviarse en un ciclo de bloques SDC. Si el contenido es completamente estático entonces el campo de identidad en el FAC indica la secuencia 00, 01, 10, que indica que la función de AFS puede realizarse a cada posición. Un cambio del índice AFS sólo se permite en la reconfiguración.

### **2.2.8.3.3 Señalización de reconfiguraciones**

Las reconfiguraciones del multiplex DRM se señalarán de antemano para permitirles a los receptores tomar las mejores decisiones sobre cómo manipular los cambios. Hay dos tipos de reconfiguraciones:

- Una reconfiguración del servicio que involucra la reasignación de la capacidad de datos entre los servicios del MSC;
- Una reconfiguración del canal que involucra cambios a la capacidad total del MSC.

Ambos tipos de reconfiguraciones se señalan poniendo el índice de reconfiguración FAC a un valor distinto de cero. El índice de reconfiguración será idéntico para todas las tres tramas de transmisión de una supertrama de transmisión. El índice cuenta de forma decreciente con cada supertrama de transmisión.

Todos los tipos de entidades de datos que usan el mecanismo de reconfiguración para la bandera de versión en la configuración actual y en la nueva configuración, se enviarán durante el periodo cuando el índice de reconfiguración no sea cero. Esto incluirá la entidad de datos tipo 10 que señala los parámetros del canal FAC para la nueva configuración.

#### ***2.2.8.3.3.1 Reconfiguración del Servicio***

Una reconfiguración del servicio es aquella en la que se reasigna la capacidad de datos del MSC entre servicios. Esto pasa cuando se cambia el número de servicios en el multiplex o el tamaño de las secuencias de datos. Una reconfiguración del servicio también se señalará si cambia cualquiera de los contenidos de los tipos de entidades de datos, usando el mecanismo de reconfiguración de la bandera de versión. La reconfiguración se señalará lo más pronto como sea posible para proporcionar la mejor oportunidad de que el receptor consiga toda la información necesaria para la próxima configuración.

Si el servicio actualmente seleccionado se discontinúa de la reconfiguración, entonces el receptor puede intentar encontrar otra fuente de ese servicio en otra frecuencia y/o sistema usando la información de las entidades de datos 3 y 11.

#### ***2.2.8.3.3.2 Reconfiguración de Canal***

Una reconfiguración de canal es aquella en que los siguientes parámetros de canal FAC son alterados: la ocupación del espectro, la profundidad del entrelazado, el modo MSC, y el modo de robustez. En este caso el receptor es incapaz de seguir el servicio actualmente seleccionado sin la ruptura de la salida de audio. La reconfiguración debe señalarse tan pronto como sea posible para proporcionar la mejor oportunidad que el receptor consiga toda la información necesaria para la próxima configuración.

Si la transmisión es discontinua en la frecuencia sintonizada, entonces se señala una reconfiguración de la entidad de datos tipo 10 que tomará un valor especial.

#### **2.2.8.3.4 Aplicación de mensaje de texto**

Los mensajes de texto pueden proporcionar un elemento adicional de alto valor a un servicio de audio sin consumir mucha capacidad de datos. El mensaje de texto es una parte básica de DRM y consume sólo 80 bps.

##### ***2.2.8.3.4.1 Estructura***

El mensaje de texto (cuando está presente) ocupará los últimos cuatro bytes de la parte menos protegida de cada trama lógica que transporta una secuencia de audio. El mensaje se divide en varios segmentos empleando la codificación de caracteres UTF-8<sup>40</sup>. El principio de cada segmento de mensaje se indica poniendo todos los cuatro bytes al valor de 0xFF. Cuando ningún mensaje de texto se dispone para la inserción, todos los cuatro bytes se pondrán a 0x00.

---

<sup>40</sup> UTF-8: (8-bit Unicode Transformation Format) es una codificación de caracteres de longitud variable para Unicode creado por Rob Pike y Ken Thompson. UTF-8 usa grupos de bytes para representar el estándar de Unicode para los alfabetos de muchos de los lenguajes del mundo.

El mensaje de texto puede comprender hasta 8 segmentos. Cada segmento consiste de un encabezado, un cuerpo y un CRC. El cuerpo contendrá 16 bytes de caracteres de datos a menos que sea el último segmento, en cuyo caso puede contener menos de 16 bytes.

Adicionalmente cada segmento se divide en fragmentos de cuatro bytes que se colocan en cada trama sucesiva. Si la longitud del último segmento no es un múltiplo de cuatro, entonces la trama incompleta se rellenará con bytes 0x00.

La estructura del segmento es la siguiente:

Descripción del campo	Número de bits
1. Encabezado	16
2. Cuerpo	n x 8
3. CRC	16

**Tabla 2.33: Estructura del segmento**

El encabezado se dispone como sigue:

- Bit Conmutador      1 bit
- Bandera de Inicio    1 bit
- Bandera de Fin       1 bit
- Bandera de orden    1 bit
- Campo 1              4 bits
- Campo 2              4 bits
- Rfu                    4 bits

Donde el bit conmutador se mantendrá en el mismo estado mientras estén transmitiéndose segmentos del mismo mensaje. Cuando un segmento de un mensaje de texto diferente se envía la primera vez, este bit se invertirá con respecto a su estado anterior. Si un mensaje de texto, que puede consistir en varios segmentos, se repite, entonces este bit permanecerá inalterado.

La bandera de inicio y la bandera de fin se usan para identificar segmentos particulares que forman una sucesión de segmentos en un mensaje de texto, ya

sea un segmento intermedio, un primer o último segmento o un segmento único. La combinación de estas banderas produce un código que define lo siguiente:

Bandera de Inicio	Bandera de Fin	Tipo de segmento
0	0	Segmento Intermedio
0	1	Último Segmento
1	0	Primer Segmento
1	1	Único Segmento

**Tabla 2.34: Identificación de los segmentos en los mensajes de texto**

La bandera de orden señala si el Campo 1 contiene la longitud del cuerpo del segmento o un orden especial, según sea "0" o "1" respectivamente.

El campo 1 determina la longitud del segmento del mensaje de texto, también puede ser usado según la bandera de comando para enviar un comando especial. El campo 2 es el encargado de enviar el número de segmento que se está enviando, su estado dependerá de la bandera de inicio y fin.

El Rfu se reserva para uso futuro y se pondrá a cero hasta que se defina.

**El cuerpo** se codifica como una cadena de caracteres (máximo 16). Si el último carácter de un segmento de mensaje es un carácter multibyte y no todos los bytes encajan en el cuerpo, entonces el carácter continuará en el próximo segmento del mensaje.

**Chequeo de redundancia cíclica (CRC):** este CRC de 16 bits se calcula en el encabezado y el cuerpo. Usa el polinomio generador  $G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ .

#### 2.2.8.3.5 Modo paquete

Los servicios de datos generalmente consisten en cualquier secuencia de información, en forma sincrónica o asíncrona, o en archivos de información. Un sistema de entrega de paquetes generalizado permite la entrega de secuencias asíncronas y archivos para varios servicios en los mismos trenes de datos y

permite una tasa de bit de la secuencia de datos (sincrónico) para ser compartidos, trama por trama entre los varios servicios. Los servicios pueden ser llevados por series de solo paquetes o en series de unidades de datos. Una unidad de datos es una serie de paquetes que son considerados como una entidad, con respecto al error que maneja, recibido el paquete errado dentro de una unidad de datos causa que la unidad de datos entera sea rechazada. Este mecanismo puede usarse para transferir archivos y también para permitir una sincronización más simple de secuencias asíncronas.

#### 2.2.8.3.5.1 Estructura del paquete

El paquete esta hecho como se indica:

Descripción del campo	Número de bits
1. Encabezado	8
2. Cuerpo	n bytes
3. CRC	16

**Tabla 2.35: Estructura del paquete**

El encabezado retiene la información que describe el paquete. Tiene los campos:

- Primera bandera                      1 bit
- Última bandera                        1 bit
- Identificador de paquete            2 bits
- Indicador de relleno de paquete (PPI) 1 bit
- Índice de continuidad (CI)           3 bits

El **cuerpo** contiene los datos pensados para un servicio particular. La longitud del campo de datos está indicada por la entidad de datos 5.

**Chequeo de redundancia cíclica (CRC):** este CRC de 16 bits se calcula en el encabezado y cuerpo. Usa el polinomio generador  $G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ .

Las secuencias asíncronas se pueden usar para transportar la información orientada al byte. Solo paquetes y unidades de datos pueden utilizarse para transportar las secuencias asíncronas.



Son aplicables: la Protección Desigual de Error (UEP) y la Protección Igual del Error (EEP) y pueden combinarse con la modulación jerárquica. La protección igual de error usa una única tasa de código para proteger todos los datos en un canal. EEP es obligatorio para el FAC y SDC. En cambio, la protección desigual de error puede usarse con dos tasas de código, para permitir que los datos en el MSC sean asignados a la parte más protegida y la parte menos protegida. Esto se debe a las diferentes necesidades de protección de error dentro de un servicio o para diferentes servicios dentro de un esquema de correspondencia de diferentes múltiplex y combinaciones de tasas de código.

### **2.2.9.1 Adaptación al transporte múltiplex**

Este proceso implica la división de la información en longitudes apropiadas para el procesamiento dentro del multiplex, como los tres diferentes canales del sistema DRM (SDC, FAC, MSC) se procesan de manera independientemente, cabe anotar las siguientes aclaraciones:

#### **2.2.9.1.1 Canal MSC**

La longitud de las tramas multiplex del MSC depende de los siguientes factores:

- La ocupación del espectro, las constelaciones utilizadas y los modos de robustez.
- Las tasas de codificación utilizadas.
- El sistema de protección frente al error utilizado (EEP o UEP)

Al obtener estos valores se desprende el número de celdas OFDM a utilizarse.

#### **2.2.9.1.2 Canal FAC**

Para el canal FAC, las longitudes y el número de celdas OFDM son fijos y no dependen de ningún parámetro. Su longitud se fija en 72 bits y las celdas necesarias para el procesamiento OFDM se fija en 65.

### **2.2.9.1.3 Canal SDC**

Al contrario del FAC, las longitudes de bloque SDC dependen básicamente del modo de robustez, la ocupación del espectro y las constelaciones utilizadas, por ende el número de celdas para el procesamiento OFDM también varía en función de estos parámetros<sup>41</sup>.

### **2.2.9.2 Dispersión de energía**

Se usa este mecanismo para evitar que irregularidades no deseadas se presenten en la señal transmitida. Por consiguiente, la señal se resuelve por una suma modulo-2 con una secuencia binaria pseudorandómica. Esta secuencia para el caso del sistema DRM tiene la forma:  $P(x) = x^9 + x^5 + 1$ .

### **2.2.9.3 Codificación de canal**

La codificación de canal se realiza a través de la codificación multinivel. El principio de este tipo de codificación, es unir técnicas de codificación y modulación para así lograr el mejor desempeño en la transmisión. Es decir, que los bits más propensos al error sean mapeados en la constelación QAM con la más alta protección. Los diferentes niveles de protección utilizan las llamadas perforaciones a los códigos convolucionales, derivados de un código base.

La codificación de canal hace uso de algunos procesos intermedios tales como el particionamiento de la información en diferentes niveles, la codificación convolucional de la información, el entrelazado de bits y posteriormente el mapeo de la información en las constelaciones QAM, a continuación se describe los aspectos más relevantes de cada proceso.

#### **2.2.9.3.1 Particionamiento de la información**

---

<sup>41</sup> Para obtener información detallada acerca de la obtención de longitudes para el procesamiento multiplex referirse a la especificación ETSI ES 201 980 V2.2.1 (2005-10) Pág. 93.

Dependiendo de la constelación de la señal y del mapeo<sup>42</sup> utilizado, se distinguen cinco esquemas de codificación multinivel, los mismos que tienen ciertos requerimientos en cuanto al particionamiento de la información.

El particionamiento de la información en tres niveles ( $C_0$ ,  $C_1$  y  $C_2$ ) se aplica a los mapeos SM, HMsym y HMmix, el particionamiento de la información en dos niveles ( $C_0$  y  $C_1$ ) y un nivel ( $C_0$ ) se aplica solo a los mapeos SM, conformando de esta manera los cinco esquemas de codificación multinivel.

La idea básica del particionamiento de la información es dividir el flujo principal de datos en flujos secundarios tomando en cuenta el número de niveles que se utilicen, estos flujos secundarios se caracterizan por tener la misma longitud<sup>43</sup>. Posteriormente estos flujos alimentarán a los codificadores convolucionales, con el objeto de dar mayor robustez a la señal transmitida.

### 2.2.9.3.2 Codificación Convolutiva

El proceso de codificación se basa en el uso códigos convolucionales perforados basados en un código base de tasa 1/4 y una longitud de restricción de 7 bits.

Un esquema del codificador convolutiva utilizado se observa en la figura 2.42:

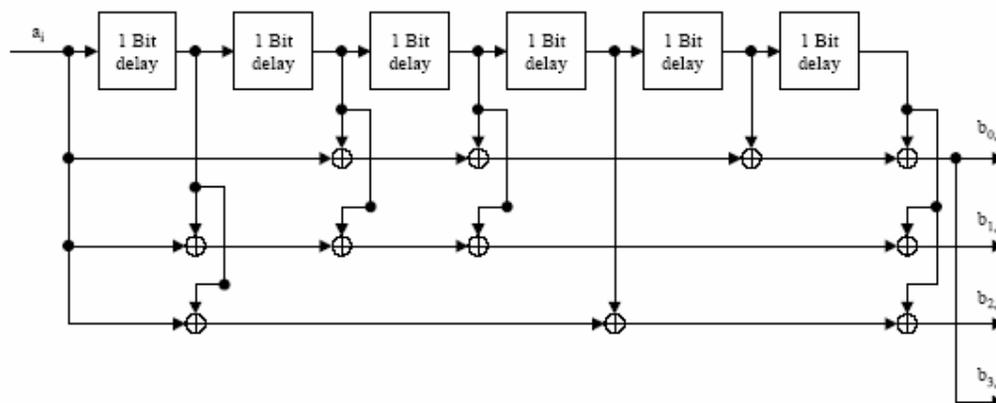


Figura 2.42: Esquema del codificador convolutiva

<sup>42</sup> Los mapeos utilizados en DRM son: SM, HMsym, Hmix.

<sup>43</sup> Para mayor información acerca de la partición de información referirse a la especificación ETSI ES 201 980 v2.2.1 (2005-10) Pág. 100.

Los polinomios generadores para esta codificación en su forma octal son los siguientes: 133, 171, 145 y 133 respectivamente. Luego de esta codificación inicial, el flujo de bits obtenido se somete a las matrices de perforación las cuales realizan un segundo nivel de codificación sin introducir demasiada redundancia.

Las matrices de perforación para los canales FAC, MSC y SDC se describen en el Anexo 4, en los canales MSC y SDC, los últimos 24 bits se deben codificar con otras matrices de perforación las mismas constan en el Anexo 4.

#### ***2.2.9.3.3 Entrelazado de bits***

Este procedimiento implica un reordenamiento específico de la cadena de bits resultante con el fin de dar mayor robustez a la señal, evitando que los errores que se presenten tengan fuerte impacto sobre la información total.

Como se vio en la sección de particionamiento, existen varios esquemas de la codificación multinivel, sin embargo la operación de entrelazado solo se aplica en ciertos niveles, de ésta manera en la codificación a tres niveles, el entrelazado se aplica en los niveles de codificación  $C_1$  y  $C_2$ , en la codificación a dos niveles el entrelazado se aplica en los niveles de codificación  $C_0$  y  $C_1$  y en la codificación a un nivel el entrelazado se aplica en el nivel de codificación  $C_0$ .

La permutación utilizada para la secuencia de bits en cada nivel de codificación depende de la constelación usada, así como también del número de bits de entrada, para mayor información del entrelazado de bits referirse al Anexo 5.

#### ***2.2.9.3.4 Constelaciones QAM y Mapeo***

Las secuencias que provienen del entrelazado de bits posteriormente se someten al mapeo en las constelaciones QAM, en el sistema DRM se utilizan los modos 4-QAM, 16-QAM, y 64-QAM. Para el canal MSC los modos usados son 16 y 64 QAM, para el canal SDC los modos usados son 16 y 4-QAM, mientras que para el

canal FAC invariablemente el modo usado en 4-QAM. Estas configuraciones se disponen de acuerdo a la tabla 2.36:

Modo	MSC	SDC	FAC
Alta calidad	64-QAM	16-QAM	4-QAM
Robustez	16-QAM	4-QAM	4-QAM
Nota	No usa 4-QAM	No usa 64-QAM	Siempre 4-QAM

**Tabla 2.36: Codificación empleada en los canales DRM**

Las constelaciones especificadas para el sistema DRM se pueden observar en detalle en el Anexo 6.

#### 2.2.9.4 Aplicación de la codificación a los canales

Como se ha visto el proceso de codificación multinivel implica la división de la información en flujos que se procesan independientemente por medio de codificadores convolucionales, debido a este hecho se establecen diferentes niveles de protección de la señal, a continuación se señalan las tasas de código asociadas a cada nivel de protección en cada uno de los canales.

##### 2.2.9.4.1 Niveles de protección del MSC

Las tasas de código que se utilizan para codificar el MSC se especifican en las tablas 2.37 y 2.38:

Nivel de protección	$R_{TOTAL}$	$R_0$	$R_1$	$R_{Y_{LCM}}$
0	0.5	1/3	2/3	3
1	0.62	1/2	3/4	4

**Tabla 2.37: Tasas de código para la codificación 16-QAM del MSC**

Nivel de protección	$R_{TOTAL}$	$R_0$	$R_1$	$R_2$	$R_{Y_{LCM}}$
0	0.5	1/4	1/2	3/4	4
1	0.6	1/3	2/3	4/5	15
2	0.71	1/2	3/4	7/8	8
3	0.78	2/3	4/5	8/9	45

**Tabla 2.38: Tasas de código para la codificación 64-QAM del MSC<sup>44</sup>**

<sup>44</sup> Los niveles de protección para los mapeos jerárquicos se tratan a detalle en el Anexo 7.

#### 2.2.9.4.2 Codificando el SDC

El SDC puede codificarse utilizando 16-QAM o 4-QAM, en todo caso su codificación será más robusta que la codificación del MSC, las tasas de código utilizadas se pueden observar en las tablas 2.39 y 2.40.

$R_{TOTAL}$	$R_0$	$R_1$
0.5	1/3	2/3

**Tabla 2.39: Tasas de código utilizadas en el SDC, para 16-QAM**

$R_{TOTAL}$	$R_0$
0.5	1/3

**Tabla 2.40: Tasas de código utilizadas en el SDC, para 4-QAM**

#### 2.2.9.4.3 Codificando el FAC

El FAC usará el mapa 4-QAM. Se aplicará una tasa de código fija. Siempre usa el modo más simple y fiable.

$R_{TOTAL}$	$R_0$
0.6	3/5

**Tabla 2.41: Tasa de código utilizada en el FAC**

#### 2.2.9.5 Entrelazado de celdas MSC

La mayor parte de los sistemas que utilizan corrección de errores sin canal de retorno necesitan utilizar técnicas de entrelazado. Un entrelazado prudente de celdas se aplicará a los símbolos QAM del MSC después de la codificación multinivel, con la posibilidad de escoger un entrelazado bajo o alto (denotado aquí como entrelazado corto o largo) según las condiciones de propagación<sup>45</sup>. Los parámetros básicos del entrelazador se adaptan al tamaño de la trama multiplex.

Algunos efectos de propagación son susceptibles de causar determinados problemas, los desvanecimientos selectivos pueden afectar a grupos de

<sup>45</sup> Las funciones de permutación para el entrelazado se pueden consultar en el Anexo 8.

portadoras próximas, mientras que los desvanecimientos uniformes pueden degradar simultáneamente todas las portadoras de un símbolo OFDM. Por esta razón el sistema DRM aplica ambos entrelazados: en tiempo y en frecuencia.

Para canales de propagación selectivos de tiempo moderado (propagación de onda de superficie típica en LF y MF), el entrelazado corto suministra el tiempo suficiente y la diversidad de frecuencia para el funcionamiento apropiado de la decodificación en el receptor (extendiendo las ráfagas de error). Para canales severamente selectivos de tiempo y frecuencia, como es típico para transmisiones en las bandas de onda corta HF, la profundidad de entrelazado puede aumentarse por un esquema adicional simple de entrelazado convolucional que minimiza los tiempos de transferencia de datos de audio totales.

Teniendo en cuenta el hecho de que los datos de audio se agrupan en tramas, el retardo total del proceso completo entrelazado/desentrelazado se da por aproximadamente  $2 \times 400$  ms, es decir 800 ms, para el entrelazado corto. En el caso de un entrelazado largo corresponde a aproximadamente 2,4 s. Además el retardo se incrementa durante la transmisión debido al hecho que el bloque SDC se inserta al principio de una supertrama de transmisión.

#### **2.2.10 ESTRUCTURA DE LA TRANSMISIÓN**

La señal transmitida se organiza en supertramas de transmisión. Cada supertrama transmitida consiste en tres tramas transmitidas que tienen una duración  $T_f$  cada una, y consisten en  $N_s$  símbolos OFDM. Cada símbolo OFDM se compone por un conjunto de  $K$  portadoras, transmitidas en un periodo  $T_s$ . Las subportadoras individuales se separan por la distancia de frecuencia  $\Delta f$ . Como una consecuencia del limitado ancho de banda del canal, el espaciado de subportadora es igual o se aproxima a sólo 50 Hz. Considerando la señal OFDM transmitida dentro del ancho de banda  $B = N\Delta f$  y usando el teorema de muestreo, la señal OFDM transmitida debe muestrearse con el tiempo de muestreo  $T_s = t/B = 1/N\Delta f$ , donde  $N$  constituye el número de sub-portadoras usadas.

La duración del símbolo es la suma de dos partes:

- Una parte útil con duración  $T_u = N\Delta t = 1/\Delta f$ ;
- Un intervalo de guarda, un prefijo cíclico que proporciona robustez con respecto a la dispersión por retardo, con duración  $T_g$ .

Para evitar las distorsiones de los desvanecimientos del canal por multitrayecto, la señal OFDM se extiende cíclicamente por un tiempo de guarda  $T_g$  que se inserta antes del  $T_u$ . Como resultado, las señales multitrayecto con retardos más pequeños que el tiempo de guarda no pueden causar ISI (interferencia entre símbolos). Considerando que en los sistemas OFDM más comunes el tiempo de guarda se escoge de tal modo que  $T_g \leq T_u/4$ , el modo muy robusto D se caracteriza con un intervalo de guarda muy grande de casi la duración del símbolo útil  $T_u$ . Todos los símbolos contienen datos e información de referencia. Deben escogerse los parámetros OFDM para emparejar las condiciones de propagación y el área de cobertura que el operador quiere servir.

Se definen varios conjuntos de los parámetros OFDM para diferentes condiciones de propagación y los valores de los parámetros se listan en la tabla 2.42.

Modo de robustez	Duración $T_u$ [ms]	Espacio entre portadoras $\Delta F$ [Hz]	Duración Intervalo guarda $T_g$ [ms]	Duración del símbolo $T_s = T_u + T_g$ [ms]	$T_g/T_u$	Retardo admisible multitrayecto [Km]	N° de símbolos por trama $N_s$
<b>A</b>	24	$41^{2/3}$	2,66	26,66	1/9	800	15
<b>B</b>	21,33	$46^{7/8}$	5,33	26,66	1/4	1600	15
<b>C</b>	14,66	$68^{2/11}$	5,33	20	4/11	1600	20
<b>D</b>	9,33	$107^{1/7}$	7,33	16,66	11/14	2200	24

**Tabla 2.42: Valores numéricos de los parámetros OFDM**

Puesto que la señal OFDM comprende muchas portadoras moduladas espaciadas, cada símbolo puede considerarse como un conjunto de celdas, cada celda corresponde a la modulación de una portadora durante un símbolo.

Las tramas OFDM contienen:

- Celdas piloto.
- Celdas de Control.
- Celdas de Datos.

La señal OFDM transmitida tiene la siguiente forma:

$$x(t) = \text{Re} \left\{ e^{j2\pi f_R t} \sum_{r=0}^{\infty} \sum_{s=0}^{N_s-1} \sum_{k=K_{\min}}^{K_{\max}} C_{r,s,k} \Psi_{r,s,k}(t) \right\}$$

Donde:

$$\Psi_{r,s,k}(t) = \begin{cases} e^{j2\pi \frac{k}{T_u}(t-Tg-sT_s-N_s r T_s)} & (s + N_s r)T_s \leq t \leq (s + N_s r + 1)T_s \\ 0 & \text{otro caso} \end{cases}$$

Donde:

$N_s$ : Es el número de símbolos OFDM por trama de transmisión.

$k$ : Denota el número de la portadora.

$s$ : Denota el número del símbolo OFDM.

$r$ : denota la trama de transmisión.

$K$ : Es el número de las portadoras transmitidas.

$T_s$ : Duración del símbolo OFDM.

$T_u$ : Duración de la parte útil del símbolo.

$T_g$ : Duración del intervalo de guarda.

$f_R$ : Es la frecuencia de referencia de la señal RF.

$C_{r,s,k}$ : Valor complejo de la celda para la portadora  $k$ , en el símbolo  $s$ , de la trama número  $r$ .

Para celdas de control y datos, es decir las pertenecientes a los canales MSC, SDC y FAC,  $C_{r,s,k} = z$ , donde  $z$  es el punto de constelación para cada celda dada por los mapas de codificación definidos.

Para cada celda de referencia, se transmite una fase y amplitud definida, es decir,  $C_{r,s,k} = A_{s,k} V_{s,k}$ , Donde:  $A_{s,k}$  = amplitud, toma los valores  $\{1, \sqrt{2}, 2\}$  y  $V_{s,k}$  = son términos de fase, estos parámetros se definen para cada celda de referencia.

Los parámetros OFDM dependen del ancho de banda disponible, del número de subportadoras  $k$ , y su ubicación respecto a la frecuencia de referencia. El grupo de subportadoras que transmiten el FAC, están siempre a la derecha, respecto a la frecuencia de referencia  $f_R$  (ver figura 2.43 y 2.44), que es un múltiplo de 1 kHz.

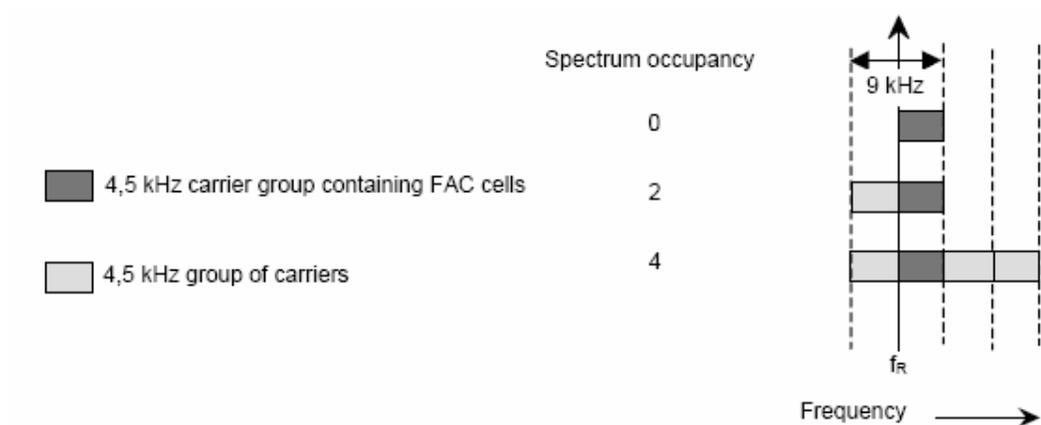


Figura 2.43: La ocupación del espectro para canales de 9 kHz

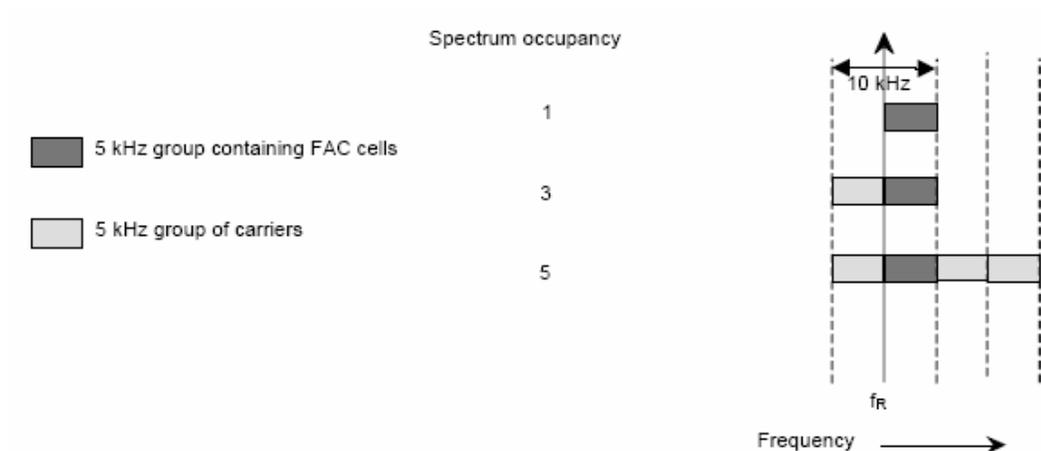


Figura 2.44: La ocupación del espectro para canales de 10 kHz

Las portadoras se indexan utilizando el subíndice  $k$  el cual pertenece al rango  $[k_{\min}, k_{\max}]$ , donde el valor  $k = 0$ , indica la frecuencia de referencia. En cada modo de robustez hay subportadoras no utilizadas, la siguiente tabla ilustra tal hecho:

Modo de robustez	Portadora(s)
A	$k \in \{-1, 0, 1\}$
B	$K \in \{0\}$
C	$K \in \{0\}$
D	$K \in \{0\}$

Tabla 2.43: Portadoras no usadas dependiendo del modo de robustez

### 2.2.10.1 Celdas piloto

Algunas celdas dentro de la trama de transmisión OFDM se modulan con fases y amplitudes fijas. Estas celdas son celdas piloto y se usan para estimación de canal y sincronización; las posiciones, amplitudes y fases de estas se eligen cuidadosamente para optimizar el desempeño, especialmente en la sincronización inicial. Para tal efecto DRM define 1024 valores de amplitud y fase que pueden ser derivados de aritmética de enteros.

#### 2.2.10.1.1 Referencias de frecuencia

Estas celdas se usan por el receptor para detectar la presencia de la señal recibida y estimar su frecuencia de referencia (portadora). Ellas también pueden usarse para la estimación del canal y varios procesos de rastreo.

Las tres frecuencias de referencia son 750 Hz, 2250 Hz, 3000 Hz. Todas las celdas de referencia de frecuencia deberán tener una ganancia en potencia de 2 (ej.  $a_{s,k} = \sqrt{2}$ ) a fin de optimizar el desempeño en ambientes de relaciones señal a ruido bajas.

Modo de robustez	Número de portadoras	Índice de fase
A	18, 54, 72	205, 836, 215
B	16, 48, 64	331, 651, 555
C	11, 33, 44	214, 392, 242
D	7, 21, 28	788, 1014, 332

Tabla 2.44: Posiciones y fases de las referencias de frecuencia en las subportadoras

### 2.2.10.1.2 Referencias de tiempo

Estas celdas se localizan en el primer símbolo OFDM de cada trama de transmisión. Su propósito principal es lograr una sincronización fiable de la trama de transmisión, determinando el primer símbolo de la misma. Además ellas también pueden usarse para la detección de la frecuencia de referencia. La tabla 2.45 define las posiciones de las celdas y las fases para las referencias de tiempo, en el primer símbolo de la trama de transmisión.

Modo de robustez	Número de portadoras	Índice de fase
<b>A</b>	17, 18, 19, 21, 28, 29, 32, 33, 39, 40, 41, 53, 54, 55, 56, 60, 61, 63, 71, 72, 73	973, 205, 717, 264, 357, 357, 952, 440, 856, 88, 88, 68, 836, 836, 836, 1008, 1008, 752, 215, 215, 727
<b>B</b>	14, 16, 18, 20, 24, 26, 32, 36, 42, 44, 48, 49, 50, 54, 56, 62, 64, 66, 68	304, 331, 108, 620, 192, 704, 44, 432, 588, 844, 651, 651, 651, 460, 460, 944, 555, 940, 428
<b>C</b>	8, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 22, 24, 28, 30, 32, 33, 36, 38, 42, 44, 45, 46	722, 466, 214, 214, 479, 516, 260, 577, 662, 3, 771, 392, 392, 37, 37, 474, 242, 242, 754
<b>D</b>	5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 17, 18, 20, 21, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 32	636, 124, 788, 788, 200, 688, 152, 920, 920, 644, 388, 652, 1014, 176, 176, 752, 496, 332, 432, 964, 452

**Tabla 2.45: Números de celdas y fases para las referencias de tiempo, en el modo A**

Cabe anotar que las amplitudes de las celdas de referencia de tiempo al igual que el caso de las referencias de frecuencia tienen el valor de  $a_{s,k} = \sqrt{2}$ .

### 2.2.10.1.3 Referencia de ganancia

La cantidad más grande de celdas piloto son las celdas de referencia de ganancia, y se usan principalmente para la demodulación coherente. Estas celdas se dispersan igualmente a lo largo de la dirección del tiempo y de frecuencia y se usan por el receptor para conseguir una estimación apropiada de la función de transferencia del canal. Las posiciones, valores de amplitud y fase de las celdas para las referencias de ganancia no se dan explícitamente, las mismas se derivan de fórmulas aritméticas definidas para cada modo de robustez. A continuación se presentan las mismas<sup>46</sup>:

<sup>46</sup> Para mayor información referirse a la especificación DRM ETSI ES 201 980 V2.2.1 (2005-10) Pág. 127

Modo de robustez	Índice de portadoras	Condición	Periodicidad de la referencia
<b>A</b>	$k = 2 + 4 \times (s \bmod 5) + 20 \times p^{47}$	$p$ entero, $k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$	5 símbolos
<b>B</b>	$k = 1 + 2 \times (s \bmod 3) + 6 \times p$	$p$ entero, $k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$	3 símbolos
<b>C</b>	$k = 1 + 2 \times (s \bmod 2) + 4 \times p$	$p$ entero, $k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$	2 símbolos
<b>D</b>	$k = 1 + (s \bmod 3) + 3 \times p$	$p$ entero, $k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$	3 símbolos

**Tabla 2.46: Índice de portadoras para cada modo de robustez**

De la tabla 2.46 se observa las fórmulas para el cálculo de las posiciones, donde “s” es el índice del símbolo OFDM, “k” es el índice de portadora, “p” es un número entero, además se da también la periodicidad de las mismas en símbolos OFDM. Para el cálculo de las fases se debe proseguir de la siguiente manera:

Modo de robustez	x	y	$k_0$
<b>A</b>	4	5	2
<b>B</b>	2	3	1
<b>C</b>	2	2	1
<b>D</b>	1	3	1

**Tabla 2.47: Parámetros para el cálculo de fase**

En base a los parámetros de la tabla 2.47 se calcula los siguientes índices:

$$\begin{aligned}
 n &= s \bmod y, \\
 m &= \lceil s / y \rceil \\
 p &= \frac{k - k_0 - nx}{xy}
 \end{aligned}$$

Los índices de fase se calculan mediante la relación<sup>48</sup>:

$$\vartheta_{1024}[s, k] = (4Z_{256}[n, m] + pW_{1024}[n, m] + p^2(1 + s)Q_{1024}) \bmod 1024$$

Las celdas de ganancia mayormente tienen una ganancia de potencia de 2, sin embargo, las celdas de referencia cerca de los límites superior e inferior de la banda tienen un factor de ganancia mayor que 2. A continuación se indica el número de portadoras a las cuales se asigna los diferentes valores de ganancia:

<sup>47</sup> Mod: operador módulo.

<sup>48</sup> El detalle de los parámetros Z, W y Q de la fórmula están desarrollados en la especificación ETSI ES 201 980 V2.2.1 (2005-10).

Modo de robustez	Ocupación del espectro					
	0	1	2	3	4	5
A	2, 6, 98, 102	2, 6, 110, 114	-102, -98, 98, 102	-114, -110, 110, 114	-98, -94, 310, 314	-110, -106, 346, 350
B	1, 3, 89, 91	1, 3, 101, 103	-91, -89, 89, 91	-103, -101, 101, 103	-87, -85, 277, 279	-99, -97, 309, 311
C	-	-	-	-69, -67, 67, 69	-	-67, -65, 211, 213
D	-	-	-	-44, -43, 43, 44	-	-43, -42, 134, 135

Tabla 2.48: Número de portadoras a las cuales se les asigna el factor  $a_{s,k} = 2$

En algunos casos las referencias de ganancia caen en ubicaciones que coinciden con las referencias de tiempo y frecuencia, por lo que las fases tienen iguales asignaciones que los últimos tipos de referencias. En caso contrario las asignaciones se deben calcular.

### 2.2.10.2 Celdas de control

Consisten de dos partes:

- **FAC:** Las cuales están integradas en cada trama de transmisión, se usan para obtener rápidamente la información necesaria para que el receptor demodule la señal DRM.
- **SDC:** Las cuales están integradas en cada supertrama de transmisión, contiene la información adicional que describe los servicios disponibles.

La estructura se la puede visualizar en la figura 2.45:

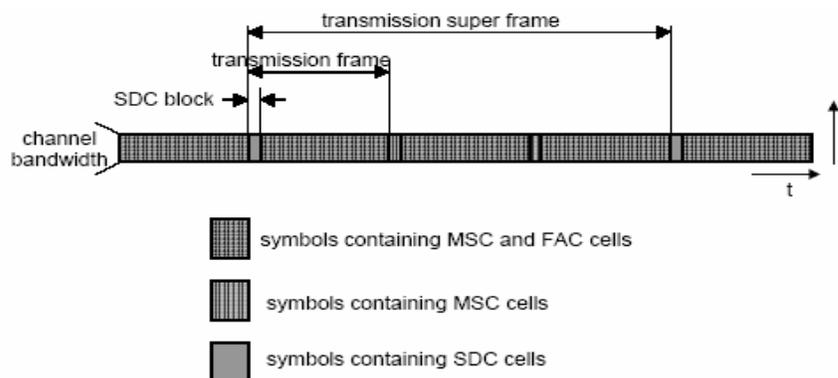


Figura 2.45: Estructura de transmisión de canales DRM

### 2.2.10.2.1 Celdas FAC

Las celdas usadas para FAC son celdas que no son ni de referencia de frecuencia, ni referencia de tiempo, ni referencia de ganancia, ni celdas de datos en los símbolos que no contienen el SDC. Las celdas FAC llevan símbolos QAM muy protegidos que permiten la detección rápida por el receptor del tipo de señal que está recibiendo actualmente.

La posición de las celdas FAC se aprecia en la siguiente tabla:

Símbolo	Índice de portadoras para celdas FAC			
	A	B	C	D
0				
1				
2	26, 46, 66, 86	13, 25, 43, 55, 67		
3	10, 30, 50, 70, 90	15, 27, 45, 57, 69	9, 21, 45, 57	9, 18, 27
4	14, 22, 34, 62, 74, 94	17, 29, 47, 59, 71	23, 35, 47	10, 19
5	26, 38, 58, 66, 78,	19, 31, 49, 61, 73	13, 25, 37, 49	11, 20, 29
6	22, 30, 42, 62, 70, 82	9, 21, 33, 51, 63, 75	15, 27, 39, 51	12, 30
7	26, 34, 46, 66, 74, 86	11, 23, 35, 53, 65, 77	5, 17, 29, 41, 53	13, 22, 31
8	10, 30, 38, 50, 58, 70, 78, 90	13, 25, 37, 55, 67, 79	7, 19, 31, 43, 55	5, 14, 23, 32
9	14, 22, 34, 42, 62, 74, 82, 94	15, 27, 39, 57, 69, 81	9, 21, 45, 57	6, 15, 24, 33
10	26, 38, 46, 66, 86	17, 29, 41, 59, 71, 83	23, 35, 47	16, 25, 34
11	10, 30, 50, 70, 90	19, 31, 43, 61, 73	13, 25, 37, 49	8, 17, 26, 35
12	14, 34, 74, 94	21, 33, 45, 63, 75	15, 27, 39, 51	9, 18, 27, 36
13	38, 58, 78	23, 35, 47, 65, 77	5, 17, 29, 41, 53	10, 19, 37
14			7, 19, 31, 43, 55	11, 20, 29
15	N/A	N/A	9, 21, 45, 57	12, 30
16	N/A	N/A	23, 35, 47	13, 22, 31
17	N/A	N/A	13, 25, 37, 49	5, 14, 23, 32
18	N/A	N/A	15, 27, 39, 51	6, 15, 24, 33
19	N/A	N/A		16, 25, 34
20	N/A	N/A	N/A	8, 17, 26, 35
21	N/A	N/A	N/A	9, 18, 27, 36
22	N/A	N/A	N/A	10, 19, 37
23	N/A	N/A	N/A	

**Tabla 2.49: Índices de portadoras utilizadas para transmitir el FAC en los modos de robustez**

### **2.2.10.2.2 Celdas SDC**

Las celdas usadas para el SDC son todas sus celdas que no son ni referencia de frecuencia, ni referencia de tiempo, ni referencia de ganancia, donde  $k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$  y  $k$  no pertenecen al subconjunto de portadoras sin usar, definido anteriormente. Para los modos de robustez A y B, los símbolos SDC son los símbolos 0 y 1 de cada supertrama de transmisión. Para los modos de robustez C y D, los símbolos SDC son símbolos 0, 1 y 2 de cada supertrama de transmisión.

### **2.2.10.3 Celdas de datos**

Las celdas de datos son todas las celdas que no son ni celdas piloto, ni celdas de control; donde  $k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$  y  $k$  no pertenece al subconjunto de portadoras sin usar definido anteriormente.

## **CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE LA MIGRACIÓN DE LA RADIODIFUSIÓN ANALÓGICA A DIGITAL, BASADOS EN LOS SISTEMAS DRM Y IBOC**

---

### **3.1 INTRODUCCIÓN**

Para el proceso de migración se debe considerar los aspectos referentes a la distribución de frecuencias, ya que en los procesos iniciales de transmisión simulcast<sup>49</sup> para ambos estándares se tiene un ancho de banda superior al actualmente asignado (10 kHz), este tema lo abordaremos en el capítulo 4.

En este capítulo trataremos el tema de la transición analógica a digital, desde el punto de vista netamente técnico, a fin de conocer que partes de un sistema de radiodifusión por debajo de 30 MHz deben ser alteradas o totalmente modificadas para el cumplimiento de las especificaciones de los sistemas IBOC y DRM.

Inicialmente se dará a conocer qué requerimientos técnicos sugeridos por la UIT-R<sup>50</sup> son necesarios para la implementación de un sistema de radiodifusión sonora digital, a partir de este marco referencial analizaremos independientemente los dos sistemas, para el final del capítulo exponer sus fortalezas y debilidades, a fin de determinar cuál estándar es más apropiado para implementar en el país.

### **3.2 REQUISITOS DE SERVICIO PARA LA RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL Y SU IMPORTANCIA RELATIVA**

En la siguiente tabla se presenta los requerimientos que debe cumplir un sistema de radiodifusión digital.

---

<sup>49</sup> Transmisiones analógicas y digitales simultáneas para el proceso de migración analógica a digital.

<sup>50</sup> BS. 1514, Sistema de radiodifusión sonora digital por debajo de los 30 MHz.

Características de los sistemas	Importancia
<b>1 Requisito de la norma del sistema</b> a) El receptor digital debe funcionar en todo el mundo.	A
<b>2 Capacidad para una transición gradual del sistema analógico al sistema digital</b> a) Radiodifusión simultánea («simulcast») (el sistema analógico y el sistema digital comparten un solo canal). b) Multidifusión («multicast») (el sistema analógico y el sistema digital ocupan canales distintos).	A
<b>3 Difusión de datos</b> a) Audio y datos; es decir capacidad de difusión de datos. b) Provisión de control de acceso y aleatorización.	B C
<b>4 Requisitos de la calidad de audio</b> a) Calidad de audio mejorada con respecto a la de los sistemas analógicos equivalentes. b) Multi-idioma o dual-mono. c) Capacidad estereofónica. d) División de velocidad binaria dinámica entre audio y datos (datos oportunistas). e) Velocidad binaria seleccionable en pequeños incrementos y soporte de la velocidad binaria superior a la que podría lograrse en la fecha de introducción.	A B B B B
<b>5 Eficacia espectral</b> a) Una sola frecuencia desde transmisores geográficamente separados o combicados. b) Cumple los requisitos de la UIT con respecto a la anchura de banda y a la separación de canales en RF. c) Posible interferencia no superior a la modulación de amplitud equivalente. d) Susceptibilidad a la interferencia no superior a la de la modulación de amplitud equivalente.	B A A A
<b>6 Fiabilidad de los servicios</b> a) Mejora en la fiabilidad de la recepción. b) Disminución importante de la susceptibilidad a los efectos del desvanecimiento. c) 1. Conmutación de frecuencia automática en el receptor. 2. Conmutación de frecuencia automática en el receptor inaudible. d) Recepción en vehículos, portátil y fija. e) Sintonía rápida. f) Degradación gradual. g) Mantenimiento de la zona de cobertura. h) Buena recepción en interiores.	A A A C A A B A A
<b>7 Información del servicio para selección de sintonía</b> a) Selección simplificada de servicios utilizando datos relacionados con el programa para seleccionar el organismo de radiodifusión y el contenido del programa.	B
<b>8 Consideraciones sobre el sistema de transmisión</b> a) Utilización de los actuales transmisores modernos capaces de funcionar con sistemas digitales y analógicos. b) Ahorro de potencia cubriendo la misma zona de servicio con la misma fiabilidad de servicio. c) Las emisiones no esenciales y fuera de banda deben cumplir la reglamentación de la UIT.	A C A
<b>9 Consideraciones sobre el receptor</b> a) La complejidad del sistema no debe impedir la fabricación de receptores de bajo costo. b) La complejidad del sistema debe permitir la fabricación de receptores alimentados por pilas con un bajo consumo de potencia.	A B
<b>10 Compromiso variable</b> a) Posibilidad de seleccionar los parámetros del sistema dependiendo de los requisitos del organismo de radiodifusión.	B

**Tabla 3.1: Requisitos de servicio para la radiodifusión sonora digital**

Importancia relativa de las características del sistema:

A = Obligatoria

B = Muy deseable

C = Deseable

### **3.3 CONSIDERACIONES SOBRE EL PROCESO DE MIGRACIÓN ANALÓGICO A DIGITAL**

#### **3.3.1 SISTEMA IBOC**

Se suministra a los radiodifusores un principio práctico para la migración desde un sistema analógico AM hacia el sistema digital IBOC. Se tomará una visión general de cada área de una radio estación AM que necesite ser evaluada para prepararla hacia el sistema IBOC, desde el estudio, el transmisor y el sistema de antenas, a fin de que las prioridades técnicas puedan ser determinadas. Tenga en cuenta que por debajo de los 30 MHz, en el estándar IBOC solamente existe la radiodifusión en la banda MF (0.3 a 3 MHz).

Para este punto ya se conoce como trabaja IBOC, ya que en el capítulo 2 se describió el funcionamiento de este sistema de radiodifusión, así que realicemos las siguientes preguntas:

¿En qué punto una radio estación analógica AM puede convertirse en un sistema digital? ¿Qué tan antiguos son los equipos del estudio de la radio estación a fin de poderlos sustituir? ¿Cómo se procesará el nuevo audio digital (es un buen momento para cambiar o mejorar las señales de audio producidas)? ¿Tendrá éxito el actual STL<sup>51</sup> (recuerde, ahora se puede transmitir datos)? ¿Qué tipo de forma tiene el cuarto de transmisión? ¿El actual transmisor tiene el ancho de banda para IBOC? ¿El sistema de antenas cumple con los requisitos de IBOC?

Teniendo en cuenta estas preguntas, observemos dentro de la estación y realicemos un análisis de la actual configuración para determinar exactamente que se necesitará para hacer la migración hacia IBOC. Primeramente se observará la generación del audio existente y el equipo de transmisión y cómo se relacionan con la nueva tecnología. Luego brevemente se describirá cómo se realizará la difusión de datos para una transición exitosa de una estación.

---

<sup>51</sup> STL: equipo de enlace estudio-transmisor.

### 3.3.1.1 Estudio

Para una apariencia familiar, el primer lugar a empezar es el estudio. Se debe decidir cuándo y dónde se hará la conversión analógica a digital (A/D). Tenga en cuenta una vez que una señal ha ingresado al dominio digital, siempre es recomendable mantenerla así y sin alterarla. Al variar las múltiples conversiones digital a analógico (D/A) o A/D y/o las tasas de frecuencia de muestreo, y los múltiples esquemas de compresión/descompresión (codec) de datos que pueden desestabilizar y distorsionar la señal, se origina muchas señales y ruidos indeseables. Este criterio de conversión será decidido por los radiodifusores, basándose en el presupuesto, el equipo existente, las capacidades y conocimientos, y los planes de expansión futuros.

Otro aspecto a considerar de las conversiones A/D es la necesidad de rigurosas técnicas de control de nivel en el conversor. Una señal analógica demasiado alta puede causar que el conversor no pueda muestrearla, resultando en respuestas inaceptables e impredecibles. Si tales técnicas no están disponibles, podría ser una buena opción colocar un limitador brickwall<sup>52</sup> justo después del conversor A/D para elevar el nivel de muestreo.

#### 3.3.1.1.1 Consolas / Fuente de Audio

Si cualquier dispositivo del estudio está por reemplazarse, se necesita observar más de cerca las configuraciones de entrada y salida (I/O) del audio digital. Asociado con las especificaciones del audio inherente de estéreo digital AES<sup>53</sup>, se dispone de un equipo rápido y de fácil manejo con múltiples interacciones y capacidades de expansión.

Las consideraciones del transmisor/antena están en primer lugar de importancia, siguiendo las mejoras del STL, y por último las consolas. En algunos casos, la

---

<sup>52</sup> Un limitador brickwall permite pasar señales de audio con respecto a un nivel de referencia. Si una señal se encuentra por debajo de este nivel de referencia pasa sin ningún problema, en cambio, si la señal está sobre el nivel de referencia el limitador la atenúa para que dicha señal pueda pasar.

<sup>53</sup> La especificación del flujo de audio digital adoptado por la Sociedad de Ingenieros de Audio (AES, por sus siglas en inglés), que permite transmitir en tiempo real la señal digital.

adquisición de la consola es el último punto que permitirá que una estación se convierta totalmente en digital.

Se debe actualizar por lo menos un tablero con salidas digitales. Algunas estaciones no se dan cuenta que tan 'digital' realmente son, con los reproductores de CD o de minidiscos, algunos dispositivos de telefonía y de acceso remoto, ciertos procesadores de micrófono y por supuesto los servidores de audio digital IBOC. Se recomienda una consola de salida digital de 44.1 kHz, ya que puede suministrar múltiples tasas de muestreo y varios formatos digitales, y también que todavía puedan manejar fuentes analógicas.

Los esquemas de compresión que utilizan los codecs deben ser limitados. Los minidiscos y ciertos sistemas de almacenamiento de audio emplean alguna forma de algoritmos de compresión de datos. Ciertos equipos de procesamiento y sistemas de enrutamiento utilizan codecs propietarios. La codificación/decodificación toma lugar creando algoritmos graduales, en donde la mayoría de veces se crea audio de baja calidad.

El modo híbrido no es compatible con los actuales sistemas de estéreo AM analógico, por lo que se necesitará convertir la señal en una señal monofónica para la porción analógica de la programación IBOC. Por supuesto, actualmente si se programa solo en monofónico y se está planificando para el futuro, ahora sería el momento para convertir el estudio a estéreo digital.

#### ***3.3.1.1.2 Cableado / Cronometraje***

En transmisión, la señal de audio digital debe ser lo más clara posible. Se requerirá un cableado y técnicas de puesta a tierra apropiados, junto con cables y conectores de alta calidad, para conseguir la mejor salida de audio y datos. Por el lado óptimo, el cableado actual podría ser reducido a la mitad, ya que el audio AES enruta la señal digital estéreo en serie en un solo cable, en lugar del par necesitado actualmente para estéreo. También, para transportar la señal de audio digital, la mayoría de instalaciones están usando cables de CAT-5, en vez de un

cable de audio digital (110  $\Omega$ ). Esto se utiliza para suministrar una instalación bien realizada, rápida y simple, completamente libre de interferencias de radiofrecuencia.

Es muy importante entender completamente el diseño de enrutamiento del audio. IBOC emplea un reloj maestro para sincronizar todo el sistema. Cada fabricante de transmisores suministra su propio método de enrutamiento de audio y sincronización. Se debe asegurar que el procesamiento de audio opere en sincronización con el sistema, y que esté ajustado a la tasa de muestreo correcta, lo que favorecerá en la calidad de audio.

Una estación con múltiples estudios, puede necesitar adquirir o actualizar el reloj maestro para sincronizar todas las instalaciones. Para prevenir cambios de los niveles digitales, el audio AES debe ser sincronizado a una referencia de tiempo común. Para un estudio pequeño, por lo menos se necesitará una consola digital equipada con un reloj interno para permitir una conmutación automática y un enrutamiento de diversas entradas. Los sistemas altamente complejos podrían ser cronometrados por medio del GPS o por sistemas internacionales de regulación de tiempo.

Dependiendo en dónde se realiza la conmutación analógica a digital, la actual amplificación de distribución (DA) del audio analógico puede ser reemplazada con sus contrapartes digitales AES. Quizás se optará por un ruteador analógico/digital para reemplazar los DAs de aislamiento, los conectores, y los conmutadores mecánicos. Nuevamente, es necesario un reloj maestro para sincronizar todos los componentes digitales en la cadena de transmisión.

Si se utilizará varias tasas desde un gran número de fuentes de audio, y la consola es incapaz de manejar múltiples tasas de entrada, se necesitará convertirlas de antemano a una tasa única. Estos conversores de tasa de muestreo (SRC) también deben ser cronometrados por la estación maestra.

### ***3.3.1.1.3 Retardo por diversidad***

Un retardo significativo será introducido en el audio digital del lado de recepción, debido a la digitalización y a las conversiones de transporte del audio transmitido. Se introduce retardos adicionales por el receptor en cuanto este decodifique y administre el flujo entrante. Por consiguiente, el audio analógico será retardado desde 6 hasta 8.5 segundos para obtener una suave combinación entre las señales digitales y analógicas, en el caso de que el receptor determine una necesidad de conmutar entre las dos señales basado en la calidad de recepción.

La mayoría de las estaciones están equipadas por tal retardo. Si no lo está, una estación necesitará cambiar su técnica de monitoreo que detecta cuando no existe transmisión por una señal de pos-consola/pre-IBOC que detecte en cambio la existencia de transmisión. La mayoría de estaciones todavía podrán monitorear las pérdidas de radiofrecuencia por medio de una alarma automatizada que detecta la presencia de señal, o con un monitoreo subjetivo para determinar la calidad de transmisión. El monitoreo subjetivo también debería realizar alimentaciones remotas para comunicarse directamente con el estudio, como oposición a monitorear la señal aérea retardada.

### ***3.3.1.1.4 Procesamiento***

El procesamiento de audio puede ser usado en dos configuraciones: dos unidades separadas (una para IBOC y otra para la señal convencional), o un único procesador con doble salida que suministre un proceso de audio dedicado para ambos canales. Cualquier método funcionará, y la selección se determina básicamente por el radiodifusor. Algunos excitadores IBOC requieren un reloj maestro externo (que puede ser proporcionado por medio del procesador), pero si el procesador será sincronizado por el excitador, puede ocurrir una situación paradójica al encender las unidades, como una condición de libre operación, y el audio no será transferido. Se está desarrollando un método para asegurar que esto no suceda, pero entretanto, se debe tener cuidado al planificar la migración. Si se escoge usar los dos procesadores, se debe comprobar que ambos

procesadores estén configurados correctamente con respecto a la sincronización y la tasa de muestreo.

Ha existido una gran cantidad de discusiones con respecto a la ubicación de los procesadores de audio. Las estaciones están detectando si existe alguna compresión utilizada en algún o más puntos entre la fuente y el excitador IBOC, o están obligadas a utilizar un sistema STL obsoleto, las estaciones pueden mejorar el sonido ubicando el procesador de audio en el transmisor. Este método permitirá hacer los refuerzos y los ajustes finales del audio justo antes de la transmisión, enviando una señal más nítida al codificador. La codificación HDC reducirá el flujo de bits del audio digital al 93% (la más alta resolución fijado a 96 kbps), y trabajará mejor cuando la fuente disponga de un control dinámico moderado.

Los locutores prefieren que el sonido de sus voces sea procesado completamente, un procesador “imitador” puede ser insertado dentro del procesamiento de audio a tiempo real. Esta unidad puede simular detenidamente el sonido propio de la persona.

La nueva tecnología de procesamiento permite copiar el sonido analógico propio de una persona en la señal digital, o se puede optimizar de forma diferente una vocalización nueva y fresca. También, los nuevos dispositivos con codec HDC están siendo introducidos para un mayor realce de la señal IBOC. Esto suministrará una codificación óptima, priorizando la utilización del DSP (Procesador de Señal Digital) acorde a la respuesta de frecuencia.

Desafortunadamente, debido a la naturaleza de la superposición híbrida de la señal IBOC, la banda ancha en AM no siempre será realizable. De hecho, los receptores de AM de banda ancha probablemente escucharán las portadoras IBOC (ruido en el rango de audiofrecuencia). Para mantener la presencia de AM analógico, las estaciones serán impulsadas para optimizar el audio, y establecer un filtro de 5 kHz para atenuar gradualmente los picos. Esto no se percatará en las radios AM para vehículos, sin embargo, en receptores hi-fi normales o de banda ancha podría sonar ligeramente atenuado cuando se compara con la señal

analógica actual. Una vez que el audio transmitido se optimiza apropiadamente con un rolloff de 5 kHz, la mayoría de los receptores AM realmente sonarán mejor, por el hecho de que la mayor parte de la tecnología de recepción actual incluye filtros que pueden causar ringing (armónicas indeseables) para cualquier frecuencia mayor que 5 kHz.

### **3.3.1.2 STL**

El STL también es una parte crítica dentro de la cadena de transmisión de un sistema de radiodifusión analógica en su transición a un sistema de radiodifusión digital IBOC, su necesidad nace del hecho de que la ubicación del transmisor junto al sistema de antenas se realiza preferiblemente en lugares altos y alejados de las poblaciones, con el objeto de facilitar la propagación eficiente de las ondas de radio. Por tanto un sistema de radio enlace STL se utiliza para transportar la programación desde el estudio hacia el sitio de transmisión final, en la sección 3.4.3 se tratará este punto.

A continuación se da a conocer el proceso de encapsulación de PDUs de capa 2 por parte del sistema IBOC, para que el correspondiente STL pueda enviar la información al transmisor.

#### **3.3.1.2.1 Descripción del proceso de transmisión de los PDUs de capa 2**

Para cada canal lógico activo, la capa 1 indica a la capa 2 que requiere un PDU de capa 2. La capa 2 indica al Transporte de Audio y al Transporte AAS (AAT) que suministren sus respectivos PDUs (MPS/SPS y AAS) que serán agrupados en un solo flujo de bytes (multiplexados en un PDU de capa 2), para someterlos al proceso de transmisión.

Para un canal lógico PIDS, la capa 2 indica al Transporte SIS que suministre su respectivo PDU. La capa 2 envía el PDU SIS directamente a la capa 1 sin ninguna especificación.

### 3.3.1.2.2 Encapsulación de paquetes – Generación de PDUs

La encapsulación de paquetes sigue el entramado tipo HDLC empleado por el protocolo Punto-a-Punto (PPP<sup>54</sup>) como estándar del IETF<sup>55</sup> en el RFC<sup>56</sup>-1662, “PPP en el entramado tipo HDLC”. Este proceso es realizado por el subsistema de radio enlace. A continuación se describe cómo el entramado tipo HDLC de PPP ha sido adaptado para el sistema IBOC.

El entramado tipo HDLC permite la encapsulación de un paquete dentro de un flujo de bytes, conocido como PDU, que puede ser enviado en segmentos de tamaño arbitrario (ej., en cada trama modem<sup>57</sup>). La reconstrucción del paquete requiere solamente una concatenación de los segmentos. Dependiendo de su tamaño, una trama modem puede contener múltiples paquetes encapsulados o una porción de un gran paquete.

#### 3.3.1.2.2.1 Formato de PDU

Campo	Bytes	Descripción
Bandera	1	0x7E ( <i>Inicio del PDU</i> )
Protocolo	1	Campo de protocolo = 0x21 para el formato del paquete PSD
Información	<i>Como se requiera</i>	Paquetes PSD
FCS	2	Una Secuencia de Chequeo de Trama de 16 bits se usa para detección de errores – en formato little-endian <sup>58</sup>
Bandera	1	0x7E ( <i>Inicio del siguiente PDU</i> )

**Tabla 3.2: Definición de campos de PDU PSD para el sistema IBOC**

La estructura de trama descrita en el RFC-1662 (consultar para una mayor referencia) se resume en la siguiente figura. No se incluye los bits insertados por sincronización, ni los bytes insertados para la transparencia. Los campos se transmiten de izquierda a derecha.

<sup>54</sup> Este protocolo provee un método estándar para el transporte de datagramas multiprotocolo sobre enlaces punto a punto.

<sup>55</sup> IETF (Internet Engineering Task Force): Es la principal organización de estándares (en transmisión de información) del Internet.

<sup>56</sup> RFC (Request For Comments): Serie de notas sobre el Internet, documentos que contienen proposiciones, comentarios y estándares relacionados a la tecnología del Internet, propuesta por el IETF.

<sup>57</sup> Una trama modem se refiere a una trama de capa 1 basada en el tamaño de los canales lógicos.

<sup>58</sup> En orden de transmisión de bits, lo que significa que se transmite primero el byte menos significativo.

<b>Bandera</b> 01111110	<b>Dirección</b> 11111111	<b>Control</b> 00000011	<b>Protocolo</b> 8/16 bits	<b>Información</b> *	<b>Relleno</b> *
----------------------------	------------------------------	----------------------------	-------------------------------	-------------------------	---------------------

<b>FCS</b> 16/32 bits	<b>Bandera</b> 01111110	<b>Relleno inter trama</b>
--------------------------	----------------------------	----------------------------

Para el sistema IBOC se realiza los siguientes cambios:

1. Los campos Dirección y Control proporcionan una función no útil en el sistema IBOC y han sido eliminados para ofrecer una mayor eficiencia.
2. El campo Protocolo es siempre de 8 bits y tiene un valor menor que 0x80 (Valores mayores se reservan para una futura expansión).
3. No se usa relleno (Campos Relleno y Relleno inter trama).
4. La Secuencia de Chequeo de Trama (FCS) es siempre de 16 bits.

#### *Banderas delimitadoras*

Cada trama tipo HDLC está delimitada por bytes de Bandera que tienen el valor de 0x7E. Todas las implementaciones buscan continuamente esta Bandera, la cual se usa para la sincronización de tramas. Solamente se requiere una Bandera entre dos tramas. Las Banderas delimitadoras sirven para los siguientes propósitos:

- Sólo se necesita un byte para delimitar un paquete de cualquier longitud.
- Una bandera falsa a causa de un error de payload resulta en la pérdida de una sola trama (paquete).
- Una bandera adulterada no puede causar la pérdida de más de dos tramas (paquetes).

#### *Campo Protocolo*

El campo Protocolo se usa para suministrar múltiples formatos de paquete. Para PSD, se usa el protocolo predeterminado (0x21).

En recepción, cualquier trama con un campo de Protocolo no reconocido debería ser descartada por el transporte de audio. Esto permite que sean agregados nuevos protocolos de paquetes en el futuro, mientras se mantiene una compatibilidad hacia atrás con los antiguos receptores.

### *Información*

El campo Información contiene los paquetes PSD.

### *Secuencia de Chequeo de Trama (FCS)*

Utiliza un CRC<sup>59</sup> de 16 bits. El FCS se calcula usando todos los bits de los campos Protocolo e Información (de la tabla 3.2), no se incluye cualquier octeto insertado para la transparencia. También no se incluyen las Banderas ni el mismo campo FCS. El FCS se usa en el formato little-endian.

El FCS fue originalmente diseñado teniendo en cuenta las implementaciones de hardware. El flujo serial de bits se transmite por el cableado, el FCS se calcula sobre el flujo de bits, y el complemento del FCS resultante se agrega al flujo serial, seguido por la Bandera. El receptor calcula el FCS de la información recibida cuando detecta la Bandera. Luego el FCS calculado se compara con el FCS complementado, a fin de determinar la validez de una trama. Una trama es válida cuando los dos valores FCS coinciden.

#### **3.3.1.2.2.2 Transparencia**

Para prevenir un valor de 0x7E que pueda aparecer en los datos y sea leído como una Bandera, se proporciona un mecanismo de evasión para reemplazar bytes por un contenido especial con valores alternados. Esto se realiza reemplazando el byte por dos bytes, que consiste en: el byte de control de evasión 0x7D seguido por el byte original realizado un o-exclusivo con el número 0x20. Los dos únicos valores que necesitan ser evadidos son:

---

<sup>59</sup> CRC (Cyclic Redundancy Check): Técnica para detectar errores de transmisión de datos.

- 0x7E el cual se codifica como 0x7D, 0x5E, (Secuencia de Bandera)
- 0x7D el cual se codifica como 0x7D, 0x5D (Control de evasión)

Ya que el mecanismo de evasión requiere de dos bytes para codificar un único byte, se reduce levemente la eficiencia alrededor del 1% para un paquete con un payload de datos aleatorios. Puesto que los caracteres Bandera y Control de evasión corresponden a los caracteres “~” y “}”, los cuales aparecen rara vez en datos ID3, la pérdida de eficiencia en paquetes PSD es mucho menor que el 1%.

#### ***3.3.1.2.2.3 Patrón inactivo***

Cuando no se dispone de paquetes de datos, se envía un patrón inactivo de banderas repetitivas. Esto es equivalente a un flujo de tramas de longitud cero.

#### ***3.3.1.2.2.4 Aplicación del RFC-1662 para el sistema IBOC***

Las siguientes características del RFC-1662 se consideran para IBOC:

- Todos los flujos usados para el transporte de paquetes en el sistema IBOC son octeto-sincrónico.
- No se utiliza la conversión asíncrona a sincrónica.
- La Bandera y el Control de Evasión son las únicas banderas de control usadas en el sistema IBOC. La negociación de caracteres de control adicionales no es factible y no es requerida.
- Las negociaciones LCP no son factibles y no son usadas.
- Las tramas PPP identificadas no son tramas válidas.

#### ***3.3.1.2.2.5 Definición de paquetes predeterminados PSD***

El PSD utiliza el formato de paquete predeterminado mostrado en la tabla 3.3.

Campo	Tamaño (bytes)	Descripción
PORT	2	Número de Puerto para el direccionamiento de un servicio particular – en el formato little-endian.
SEQ	2	El número de secuencia se incrementa en 1 por cada paquete enviado – en el formato little-endian.
Payload	1-1024	La longitud del payload es variable hasta 1024 bytes.

**Tabla 3.3: Definición de paquetes predeterminados**

#### *Número de Puerto*

Los números de Puerto se usan para permitir que los paquetes sean conducidos a aplicaciones específicas. Los números de puerto 0x5100 son usados por los Datos del Servicio de Programa Principal y los números 0x5201 hasta 0x5208 se reservan para aplicaciones PSD futuras.

#### *Número de Secuencia*

En el transmisor, cada paquete enviado a un PORT dado tiene un número de secuencia mayor que el anterior. Esto permite que la distribución de paquetes sea verificada en el receptor, y que los paquetes perdidos sean detectados a través de números de secuencia ausentes.

#### *Payload del paquete*

Los payloads del paquete son de longitud variable hasta 1024 bytes. Para PSD, los datos de payload están en una etiqueta ID3. Los paquetes grandes pueden ser transmitidos sobre múltiples tramas modem.

### **3.3.1.3 Localización del transmisor**

Se tomarán muchos cambios en las instalaciones del transmisor, por lo que se requiere un análisis detallado para cubrir todos los requerimientos necesarios.

### ***3.3.1.3.1 Consideraciones de ubicación***

Se debe considerar si se dispone de un espacio para agregar un segundo transmisor, un excitador (no se debe olvidar una fuente UPS para el excitador IBOC, ya que puede tomar de 30-60 segundos para arrancar nuevamente), un filtro enmascarador, etc. Se debe determinar un espacio libre de 0.6 a 1 m a todos los lados del nuevo equipo, para cubrir los cambios imprevistos.

Uno de los aspectos a veces olvidados de una ampliación de la instalación, es el adiconamiento de un conmutador principal/auxiliar si es necesario. La decisión ante todo será basada en el nivel de potencia del transmisor de respaldo comparado con el principal, si el transmisor puede ser operado a una potencia reducida, y si se desea que la señal digital sea transmitida en el caso de fallar el transmisor analógico principal.

### ***3.3.1.3.2 Potencia AC y HVAC<sup>60</sup>***

Es más probable que se incremente las necesidades de potencia AC significativamente, así que el actual consumo de potencia debe ser revisado y luego ser aplicado con las nuevas consideraciones del equipo. Una vez que se ha realizado una cantidad acumulada de consumo AC, se debe añadir un 20% de potencia adicional para poder acomodar futuros suplementos secundarios. Se debe registrar la capacidad de potencia del actual generador, para determinar si cumplirá con las necesidades adicionales del equipo.

Al agregar al sistema nuevos equipos, por ende las necesidades de potencia aumentarán y se enfrentará con unos requerimientos de enfriamiento más grandes. Los amplificadores lineales menos eficientes producirán más calor y necesitarán mayores flujos de aire. Esto necesitará ser calculado y reubicado.

---

<sup>60</sup> Es la abreviación para los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado. Un sistema HVAC es necesario para ofrecer una temperatura fresca y constante, libre de humedad, esencial para una operación del transmisor libre de problemas.

### ***3.3.1.3.3 Puesta a tierra / Protección***

Muchos de los equipos se han convertido más que una computadora, requiriendo una mayor atención en las técnicas apropiadas de puesta a tierra y el uso de acondicionadores de potencia. Se debe considerar si el nuevo transmisor, el excitador IBOC, o el equipo de procesamiento utilizará un enlace dedicado para el control remoto o para la indicación de estado.

Se debe asegurar que todas las conexiones sean terminadas y aisladas correctamente. Con la difusión de datos, se necesitará agregar una línea de datos con protección contra impulsos y ráfagas a lo largo del sistema serial.

Algunos de los nuevos componentes IBOC necesitan arrancar antes de dar servicio. Si uno o más de estos dispositivos están en la cadena crítica, se debe enrutar potencia a estos por medio de un UPS para prevenir un periodo de 30 segundos a 2 minutos de ruido o de silencio durante la transmisión. Se debe garantizar que el UPS tenga la capacidad de suministrar energía a todos los componentes críticos para la duración requerida. Los acondicionadores de potencia también son útiles para los equipos que son sensibles a las fluctuaciones de voltaje, ya que monitorean las variaciones de voltaje y las compensan instantáneamente para proteger a los circuitos vulnerables.

Las buenas técnicas de ingeniería de puesta a tierra como las abrazaderas en la barra de cobre, la jabalina punto estrella, y los protectores AC contra impulsos, etc, para el equipo RF todavía son obligatorios para proteger al transmisor y al excitador IBOC. Se debe inspeccionar la instalación actual y verificar la integridad de la puesta a tierra. Un sistema de puesta a tierra deteriorado podría introducir nuevos problemas en el sistema digital.

### 3.3.1.3.4 Transmisor

Para los productos IMD<sup>61</sup> (distorsión por intermodulación) más bajos posibles, el transmisor debería soportar un ancho de banda del modulador de 45 a 60 kHz para amplificar el componente de audio de 30 kHz de ancho de banda y 100 kHz de modulación en fase de la portadora. El ancho de banda necesitado del actual modulador es más grande que el ancho de banda de la señal de banda base, para poder alcanzar una linealidad aceptable del amplificador.

Es necesario una alta linealidad con las cantidades bajas IQM/IPM (-35dB a -45dB). Los transmisores de tubo al vacío son capaces de alcanzar el valor IQM de -45dB. Para los transmisores PDM (Modulación por duración de pulso), un modulador de frecuencia ( $> \text{ó} = 150 \text{ kHz}$ ) de alta conmutación, la ganancia flatness<sup>62</sup>, la magnitud del vector error (EVM), y el ruido de fase – son los requerimientos que cancelan una gran cantidad de unidades PDM. Se debe analizar las especificaciones del transmisor actual y consultar con el fabricante para determinar si éste transmitirá la señal IBOC, así como también no se introduzca errores de bit que generen una alta tasa de error de bit (BER). El próximo criterio a considerar será el costo de un nuevo transmisor IBOC.

En consideración a actualizar un transmisor, a la entrada tradicional del audio analógico (que se convierte en la entrada de la señal Amplitud de IBOC), se puede necesitar cambiar el filtro de audio. En segundo lugar, la señal Fase de IBOC se inserta donde se ubica el oscilador interno. En el caso de un mal funcionamiento del excitador IBOC, es necesario instalar un sistema de conmutación (switch + relé) para revertir este tipo de configuración, a fin de retornar la señal analógica a la entrada de audio y restablecer el oscilador a su operación deseada. Si tal equipo no está disponible por el fabricante del transmisor, se debería considerar en hacer uno. Esta operación podría ser

---

<sup>61</sup> Es la distorsión que se produce cuando dos o más señales atraviesan simultáneamente un sistema no lineal, en donde se crea nuevas componentes de frecuencia (armónicas).

<sup>62</sup> Indica la variación de la ganancia del amplificador sobre el completo rango de la respuesta de frecuencia a una temperatura dada, expresada en dB.

conmutada remotamente y/o automáticamente para restablecer rápidamente la transmisión AM analógica cuando la estación sufra una falla del excitador IBOC.

#### ***3.3.1.3.5 Funcionamiento de la señal analógica AM (modo híbrido)***

La introducción de las subportadoras digitales no comprometerá el funcionamiento de la señal analógica AM, la señal analógica deberá cumplir con las especificaciones de la máscara de emisión. 0 dBc está definido como la potencia total de la portadora AM no modulada.

Para las transmisiones híbridas que delimitan el ancho de banda del audio analógico a 5 kHz (8 kHz), la densidad espectral de potencia de la portadora AM modulada, medida con el componente digital IBOC deshabilitado, a frecuencias alejadas de la frecuencia de portadora desde 5 kHz (8 kHz) hasta 20 kHz no debe exceder el valor de -65 dBc/300 Hz.

#### ***3.3.1.3.6 Límites de las emisiones espectrales AM***

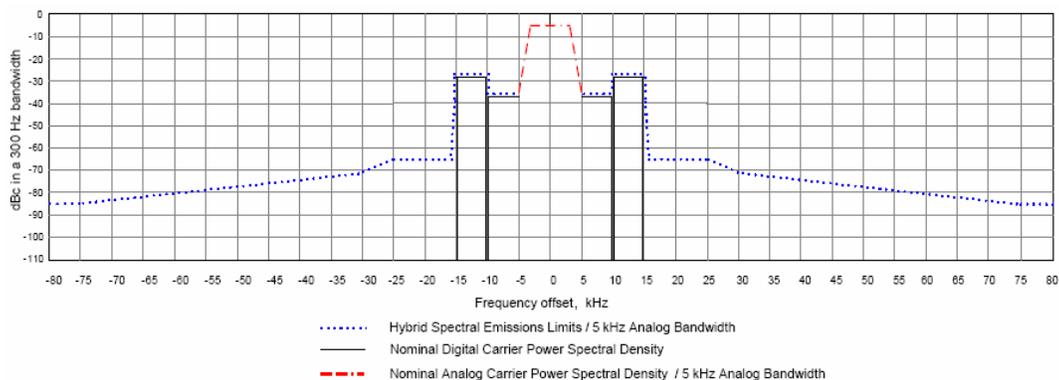
Puesto que el sistema IBOC ubica información digital en las bandas laterales del sistema AM, las estaciones más cercanas que transmiten en formato analógico serán afectadas sumamente por las nuevas estaciones que transmitirán en IBOC. Las estaciones que causan interferencia en las estaciones adyacentes, pueden reducir las portadoras digitales a 6 dB debajo de la potencia nominal. Se debe realizar pruebas adicionales de IBOC AM en transmisiones nocturnas, las estaciones AM solamente están permitidas para transmitir en formato digital durante horas del día.

Las estaciones AM necesitan observar especialmente las primeras estaciones adyacentes por arriba y debajo de su frecuencia. Si una estación no migrará pronto a IBOC, se debe controlar las nuevas interferencias ocasionadas por los canales vecinos y se necesitará solicitar que operen al nivel permitido por la entidad de control para minimizar las interferencias por primer canal adyacente.

Para las transmisiones híbridas (y digitales), las medidas de las señales analógicas y digitales (señal digital), serán producidas promediando la densidad espectral de potencia de la señal en un ancho de banda de 300 Hz sobre un periodo de 30 segundos. A continuación se proporciona los requisitos para los límites de las emisiones espectrales en las transmisiones híbridas y digitales.

#### *Límites espectrales para transmisiones híbridas con ancho de banda de 5 kHz*

El ruido y las señales espurias generadas desde todas las fuentes, incluyendo el ruido de fase y los productos de intermodulación, se adaptarán a los límites descritos en la figura 3.1 y la tabla 3.4.



**Figura 3.1: Límites de las emisiones espectrales de una señal híbrida IBOC AM para un ancho de banda de 5 kHz**

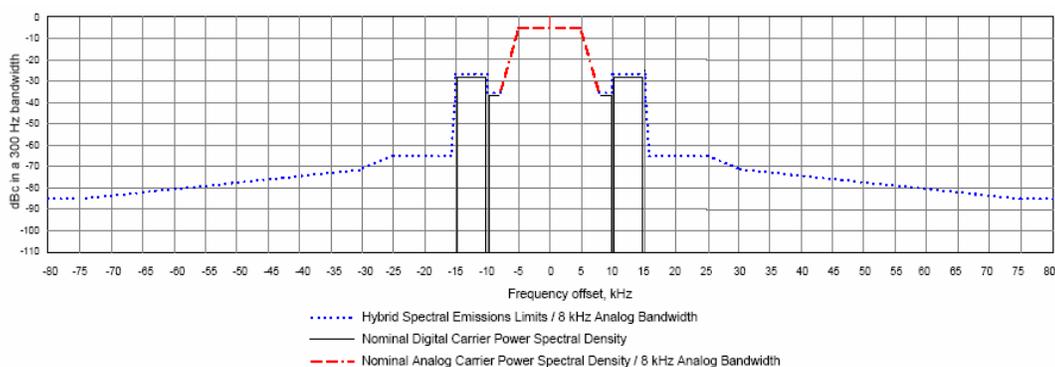
<b>Frecuencia offset relativa a la portadora</b>	<b>Nivel relativo a la portadora no modulada (dBc por 300 Hz)</b>
5 a 10 kHz offset	-34.3
10 a 15 kHz offset	-26.8
15 a 15.2 kHz offset	-28
15.2 a 15.8 kHz offset	$-39 - ( \text{frecuencia de offset en kHz}  - 15.2) \cdot 43.3$
15.8 a 25 kHz offset	-65
25 kHz a 30.5 kHz offset	$-65 - ( \text{frecuencia de offset en kHz}  - 25) \cdot 1.273$
30.5 kHz a 75 kHz offset	$-72 - ( \text{frecuencia de offset en kHz}  - 30.5) \cdot 0.292$
> 75 kHz offset	-85

**Tabla 3.4: Límites de las emisiones espectrales de una señal híbrida IBOC AM para un ancho de banda de 5 kHz**

### Límites espectrales para transmisiones híbridas con ancho de banda de 8 kHz

El ruido y las señales espurias generadas desde todas las fuentes, incluyendo el ruido de fase y los productos de intermodulación, se adaptarán a los límites descritos en la figura 3.2 y la tabla 3.5.

Cuando una estación opera en el modo híbrido de 8 kHz; un receptor IBOC tratará las portadoras mejoradas como complementarias. Las portadoras complementarias requieren ambas bandas laterales superior e inferior para ser recuperadas en la demodulación. Por lo tanto, en el modo de 8 kHz, la cobertura digital de una estación podría ser impactada adversamente por la transmisión adyacente. La severidad del impacto dependerá si la interferencia proviene de la primera o segunda adyacencia y si es una transmisión analógica, híbrida o digital.



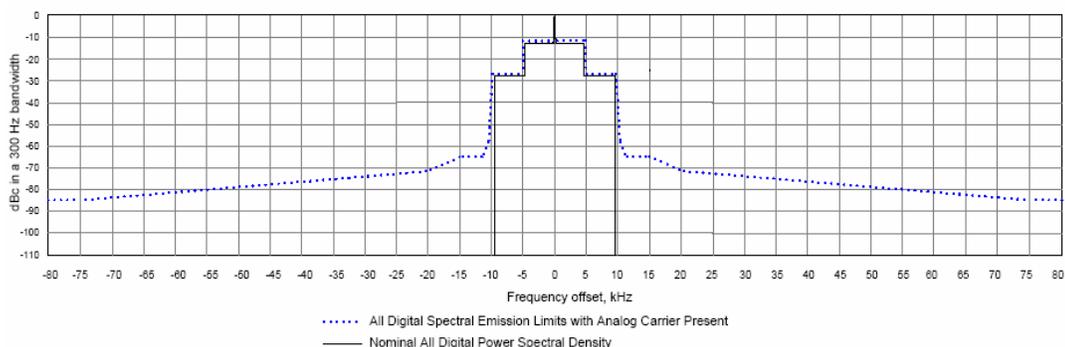
**Figura 3.2: Límites de las emisiones espectrales de una señal híbrida IBOC AM para un ancho de banda de 8 kHz**

Frecuencia offset relativa a la portadora	Nivel relativo a la portadora no modulada (dBc por 300 Hz)
8 a 10 kHz offset	-34.3
10 a 15 kHz offset	-26.8
15 a 15.2 kHz offset	-28
15.2 a 15.8 kHz offset	$-39 - ( \text{frecuencia offset en kHz}  - 15.2) \cdot 43.3$
15.8 a 25 kHz offset	-65
25 kHz a 30.5 kHz offset	$-65 - ( \text{frecuencia offset en kHz}  - 25) \cdot 1.273$
30.5 kHz a 75 kHz offset	$-72 - ( \text{frecuencia offset en kHz}  - 30.5) \cdot 0.292$
> 75 kHz offset	-85

**Tabla 3.5: Límites de las emisiones espectrales de una señal híbrida IBOC en AM para un ancho de banda de 8 kHz**

### Límites de las emisiones espectrales para transmisiones digitales

El ruido y las señales espurias generadas desde todas las fuentes, incluyendo el ruido de fase y los productos de intermodulación, se adaptarán a los límites descritos en la figura 3.3 y la tabla 3.6.



**Figura 3.3: Límites de las emisiones espectrales de una señal digital IBOC AM**

Frecuencia offset relativa a la portadora	Nivel relativo a la portadora no modulada (dBc por 300 Hz)
181.7 Hz a 4814.65 Hz offset	-12.3
4814.65 Hz a 9.8 kHz offset	-27.3
9.8 a 10.5 kHz offset	$-28 - ( \text{frecuencia offset en kHz}  - 9.8) \cdot 42.86$
10.5 a 11.5 kHz offset	$-58 - ( \text{frecuencia offset en kHz}  - 10.5) \cdot 7.0$
11.5 a 15 kHz offset	-65
15 a 20.5 kHz offset	$-65 - ( \text{frecuencia offset en kHz}  - 15) \cdot 1.273$
20.5 a 75 kHz offset	$-72 - ( \text{frecuencia offset en kHz}  - 20.5) \cdot 0.239$
> 75 kHz offset	-85

**Tabla 3.6: Límites de las emisiones espectrales de una señal digital IBOC AM**

**Nota:** Si las componentes discretas exceden los límites establecidos anteriormente, las siguientes condiciones serán cumplidas cuando se promedie la densidad espectral de potencia de la señal en cada ancho de banda de 300 Hz sobre un segmento de tiempo de 30 segundos:

1. No más de dos componentes discretas entre 75 kHz de la frecuencia de portadora excederán los límites de emisión espectral por más de 10 dB.
2. No más de cuatro componentes discretas alejadas de la frecuencia de portadora a más de 75 kHz excederán los límites de emisión espectral por más de 5 dB.

### 3.3.1.3.7 Niveles de las bandas laterales digitales

El escalamiento de amplitud de cada subportadora OFDM dentro de cada banda lateral digital está dado en la tabla 3.7 para las señales híbrida y digital. Los factores de escala de amplitud son tales que la potencia promedio en la constelación para esa subportadora cumple el promedio de la densidad espectral de potencia por subportadora mostrada en dB.

Para las señales híbrida y digital, los niveles de subportadora son especificados con relación a la potencia total de la portadora analógica AM no modulada (se asume igual a 1).

Señal	Modo de servicio	Bandas laterales	Notación del factor de escala de amplitud	Tipo de modulación	Densidad espectral de potencia máxima, dBc/Subportadora	Densidad espectral de potencia máxima en un ancho de banda de 300 Hz, dBc
Híbrido	MA1	Primario	CHP	64-QAM	-30	-27.8
		Secundario	CHS1	16-QAM	-43	-40.8
			CHS2	16-QAM	-37	-34.8
		Terciario	CHT1 [0]	QPSK	-44	-41.8
			CHT1 [1]	QPSK	-44.5	-42.8
			CHT1 [2]	QPSK	-45	-42.8
			CHT1 [3]	QPSK	-45.5	-43.3
			CHT1 [4]	QPSK	-46	-43.8
			CHT1 [5]	QPSK	-46.5	-44.3
			CHT1 [6]	QPSK	-47	-44.8
			CHT1 [7]	QPSK	-47.5	-45.3
			CHT1 [8]	QPSK	-48	-45.8
			CHT1 [9]	QPSK	-48.5	-46.3
			CHT1 [10]	QPSK	-49	-46.8
			CHT1 [11]	QPSK	-49.5	-47.3
		CHT1 [12:24]	QPSK	-50	-47.8	
CHT2 [0:24]	QPSK	-44	-41.8			
Referencia	CHB	BPSK	-26	-23.8		
PIDS	CHI1	16-QAM	-43	-40.8		
	CHI2	16-QAM	-37	-34.8		
Digital	MA3	Primario	CDP	64-QAM	-15	-12.8
		Secundario	CDE	64-QAM	-30	-27.8
		Terciario	CDE	64-QAM	-30	-27.8
		Referencia	CDB	BPSK	-15	-12.8
		PIDS	CDI	16-QAM	-30	-27.8

**Tabla 3.7: Escalamiento de amplitud de subportadora OFDM**

### 3.3.1.4 Línea de transmisión y antena

Las consideraciones del sistema de antena puede ser una tarea difícil, compleja y costosa. Es un área de alta prioridad de atención, donde se debe prevenir los problemas de interferencia y daño al equipo, y también asegurar un cumplimiento con las regulaciones de seguridad.

Aunque no parezca significativo, es importante comprobar que todos los niveles de potencia combinados se adapten dentro de las especificaciones de la línea de transmisión. También se debe comprobar que todas las conexiones estén ajustadas, y que no existan fugas de energía dentro del sistema.

La inspección de una estación AM puede ser esencial para que el sistema pueda comunicar correctamente la señal IBOC. Se podría usar un analizador de espectro y un TDR<sup>63</sup> para recorrer la línea de alimentación, la torre, y la antena tal como se presenta a la salida del transmisor, para determinar el flatness, la impedancia del ancho de banda y la simetría del VSWR. Tenga en cuenta que estos rasgos transportarán una mayor carga comparada con las consideraciones de RF típicas de la radio analógica, y las degradaciones presentes producirán bits de error que reducirán la cobertura digital.

Para los transmisores AM más modernos, la operación IBOC requerirá un valor equivalente a  $50 + j0 \Omega$  en la salida del transmisor, y la antena debe ser simétrica. Esto puede ser muy difícil para sistemas direccionales, para estaciones AM diplexadas, y para aquellas estaciones con torres muy pequeñas. En tales instalaciones, reorganizar los sistemas de antena será el mayor costo de la conversión IBOC. Un aspecto positivo es si una estación puede transmitir estéreo AM: lo más probable es que estos sistemas de antena podrán transmitir apropiadamente la señal IBOC con un mínimo de arreglos. Existen algunas técnicas y métodos para alterar un sistema de antena AM, los cuales se detallan en la sección 3.4.2.

---

<sup>63</sup> Reflectómetro en el dominio del tiempo.

Se requiere un sistema de antena de banda ancha para comunicar la señal IBOC AM, debe soportar un cierto ancho de banda para no afectar a las componentes de amplitud y fase. Se debe comprobar que la antena puede manejar el nuevo nivel de potencia RF. También se debe verificar que la antena esté óptimamente reajustada para sintonizar una cierta frecuencia. La sincronización y la linealidad del transmisor y la antena son importantes para una operación exitosa.

#### **3.3.1.5 Difusión de datos**

Se necesita que el sistema de audio sea compatible con el PSD (ID3). Lo que significa que la tecnología IBOC disponga de las especificaciones necesarias para insertar datos sobre el flujo de difusión digital. Por lo menos, los difusores de IBOC podrán transmitir – y los receptores de primera generación podrán recibir – segmentos de datos que incluirán información acerca de la canción que está reproduciéndose en ese momento.

Inicialmente, los difusores de IBOC podrán incluir aplicaciones de texto de una sola línea tales como: clima, tráfico, noticias y mercaderías, más otros datos informativos. En el futuro las estaciones serán capaces de generar mensajería de acuerdo al usuario o a la localidad, anuncios e incluso comercio, en tanto los futuros receptores podrían incluir discos duros y hasta capacidades bi-direccionales.

Desde este punto sobre las posibilidades de los difusores y los fabricantes de receptores, el desarrollo de nuevas tecnologías (y el despliegue de otras técnicas de medios de comunicación) para la radiodifusión digital, llegará a ser el nuevo conductor de ingresos para las radio estaciones.

#### **3.3.1.6 Equipos de prueba**

El instrumento más usado es un analizador de espectro. Se recomienda un moderno analizador digital, capaz de promediar potencia, con una resolución de ancho de banda de 300 Hz, y un rango dinámico de 90 dB. Esto permite observar

las portadoras digitales impuestas sobre la portadora analógica y verificar que la máscara cumpla con los límites establecidos, para prevenir las interferencias por canal adyacente mientras se provee la máxima cobertura aceptable.

Se necesita monitorear el canal analógico para verificar el nivel de potencia y la modulación. Las especificaciones de la antena deben mantenerse para AM, y el transmisor necesita un monitor de nivel de potencia para visualizaciones TPO<sup>64</sup> estables y exactas.

Para verificar el funcionamiento IQM/IPM del transmisor, se puede utilizar un Monitor de Modulación estéreo AM C-Quam. La IQM (Modulación en Cuadratura Incidental), define la cantidad de crosstalk desde la magnitud hasta la fase en el punto de cuadratura dentro del amplificador de potencia. La IPM (Modulación de Fase Incidental), es una medida de la cantidad de modulación de fase creada dentro del sistema con sólo la entrada de amplitud del transmisor. Las cantidades más negativas que -35 a -40 dB causarán que el transmisor emita bits de error, contribuyendo a reducir la cobertura digital.

Para la medición de la integridad de datos, se requiere un analizador de audio digital AES para localizar los errores en el audio digital. Estos dispositivos deben poder determinar y especificar el tipo de errores de datos, por consiguiente se dirige hacia la posible fuente de error. El proceso de generación de los flujos de bits del audio digital es una característica que también debería ser incluida para ayudar en las pruebas. Para una audición subjetiva del audio AES decodificado, revelando cualquier inexactitud presente, también se debería ofrecer un altavoz o un audífono. Si la trayectoria AES envía todo el contenido de regreso a la consola o simplemente es un conversor A/D antes del excitador IBOC, se necesitará verificar y escuchar el flujo digital previo a la codificación HDC.

La capacidad para leer y medir las fallas del HDC y de la transmisión de datos (como el diagrama del ojo), será parte de un futuro Monitor IBOC. Tal herramienta

---

<sup>64</sup> TPO (transmitter power output): es la cantidad actual de potencia (en vatios) de radiofrecuencia que un transmisor genera en su salida.

no existe todavía en el mercado, así que por ahora si no se puede adquirir un Receptor de Referencia de iBiquity, se puede necesitar un receptor comercial. Algunas estaciones disponen de un receptor de automóvil y unos altavoces colocados en una cámara de transmisión para el control local. Tal configuración puede ser un requisito económico para una valoración del audio demodulado y decodificado del sistema IBOC.

También una estación puede equipar un automóvil con un radio IBOC para ayudar a determinar cuál es la cobertura digital actual. Ciertos transmisores deben poder 'comunicar' la señal IBOC pero no pueden suministrar la cobertura esperada, debido a los aspectos no lineales relacionados con el transmisor y la antena. Estas consideraciones inducirán el "efecto precipicio", donde la corrección de errores del receptor no podrá continuar con datos erróneos, y el receptor se verá forzado a regresar al modo analógico.

### **3.3.1.7 Determinando el método híbrido**

En términos generales, los factores a considerar cuando se determina la mejor manera para crear la señal híbrida IBOC incluye:

- Potencia de operación (corriente vs. TPO deseado)
- Disponibilidad de espacio para el transmisor
- Capacidad de refrigeración
- Disponibilidad y costo de la torre
- Costo inicial
- Redundancia deseada
- Capacidad del equipo IBOC
- Tolerancia de complejidad

### ***Amplificación Común***

La amplificación común es un método de baja potencia que multiplexa la señal IBOC y la señal convencional y luego las comunica a un amplificador RF común. El

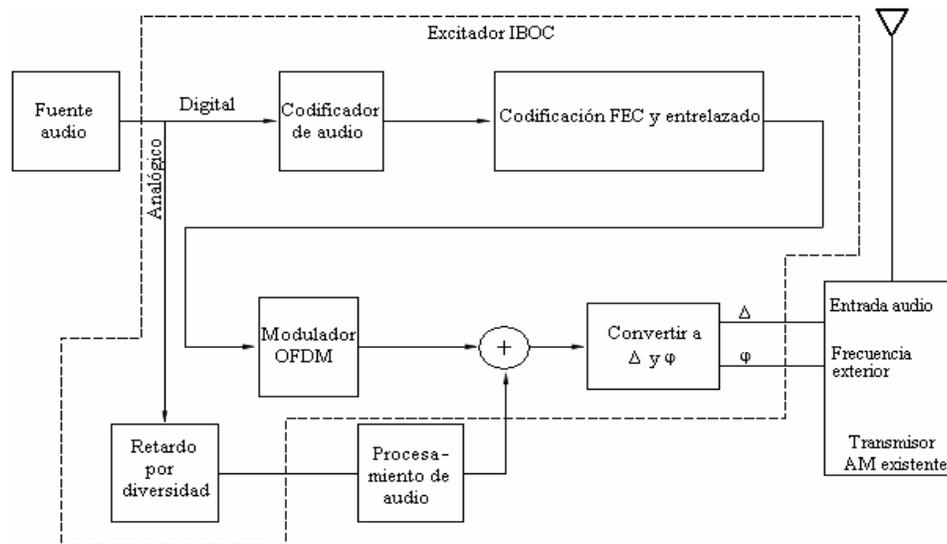
principal factor es que el amplificador RF debe suministrar suficiente linealidad al sistema, a fin de transmitir las señales multiplexadas sin degradación. Para las estaciones AM este es el único método utilizado. Se requerirá adquirir un único transmisor (o si es posible modificar el existente), para transmitir ambas señales analógica e IBOC. Una desventaja es que las pérdidas del transmisor pueden conducir a las señales analógicas y digitales fuera de transmisión. El transmisor existente debe suministrar una energía adicional de alrededor 30% para los nuevos requerimientos de potencia pico (o suministrar más amplificadores para conseguir el TPO original).

El principal criterio de “modificado” frente a “nuevo” es si el actual transmisor puede ser modificado para comunicar claramente la señal IBOC, y si esta modificación puede ser ejecutada con un costo significativamente menor que adquirir un nuevo transmisor. También se necesita considerar si aún con una modificación, se requerirá un filtro de máscara adicional, lo que además incrementará el costo y el espacio físico.

### **3.3.1.8 Generación de la señal IBOC**

En la figura 3.4 se muestra un diagrama de bloques del sistema híbrido IBOC AM del lado de transmisión. El audio desde el STL alimenta una señal monoaural L + R al trayecto analógico en AM y una señal de audio estereofónico al audio digital. El trayecto digital comprime la señal de audio en el codificador de audio y el flujo de bits resultante se entrega al codificador FEC y al entrelazador. El flujo de bits se combina después en una trama módem y modulado en OFDM para producir una señal de banda base digital. Se introduce un retardo por diversidad en el trayecto analógico, luego pasa a través del procesador de audio analógico existente y se devuelve al excitador IBOC para ser mezclado con las portadoras digitales. Esta señal de banda base se convierte en amplitud  $\Delta$  y fase  $\phi$  para la amplificación en el transmisor existente. Para simplificar, en la figura se han omitido los detalles relativos a la inserción de datos y sincronización.

Se utiliza un método similar para el sistema totalmente digital, no existe el trayecto de transmisión analógica.



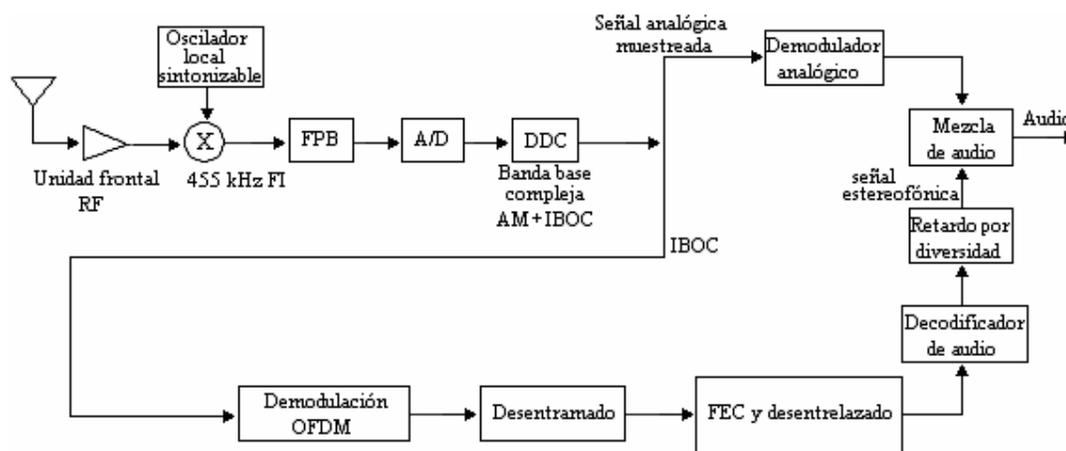
**Figura 3.4: Diagrama de bloques del sistema híbrido IBOC AM del lado de transmisión**

### 3.3.1.9 Receptor IBOC

La tecnología IBOC permite que las estaciones de radio transmitan una versión digital de calidad más alta que una programación normal. IBOC elimina cualquier estática, ruido o desvanecimientos que se pueden escuchar en una radio actual. En el modo híbrido, la señal IBOC se envía sobre frecuencias de portadora RF estándar, la señal puede ser captada por un receptor convencional; sin embargo, el receptor procesa solamente la porción analógica de la señal IBOC. Para obtener el sonido de alta calidad de la porción digital, el receptor debe incluir una capacidad de procesamiento adicional.

En la figura 3.5 se muestra un diagrama de bloques de un receptor IBOC AM. La señal se recibe por una unidad frontal RF convencional, y se convierte a frecuencia intermedia (FI) de manera similar que en los actuales receptores analógicos. Sin embargo, a diferencia de los receptores analógicos, la señal es filtrada, convertida analógica/digital (A/D) en FI y convertida digitalmente en componentes de señal en fase y en cuadratura en banda base. La señal híbrida se separa después en los componentes: analógico y digital. El componente

analógico se demodula para producir una señal de audio muestreada digitalmente. La señal digital se sincroniza y se demodula en símbolos. Estos símbolos son desentramados para el siguiente desentrelazado y decodificación FEC. El tren de bits resultante se procesa por el decodificador de audio para producir la salida estereofónica digital. Esta señal de audio digital se retarda por la misma cantidad de tiempo que la señal analógica. La función de mezcla de audio combina la señal digital con la señal analógica si la señal digital está corrompida, y se utiliza también para adquirir rápidamente la señal durante la sincronización o readquisición.



**Figura 3.5: Diagrama de bloques del receptor típico IBOC AM híbrido**

DDC: conversión digital

FPB: filtro paso banda

Nota: Para simplificar, no se muestran los trayectos de datos ni el circuito supresor de ruido.

La supresión de ruido es una parte integrante del receptor IBOC y se utiliza para mejorar la recepción digital y analógica. Los receptores utilizan circuitos sintonizados para filtrar canales adyacentes y productos de intermodulación. Estos circuitos sintonizados tienden a “formar anillos”, o extender impulsos cortos en interrupciones más largas. Un supresor de ruido sondea el impulso y conmuta las etapas RF para la duración corta del impulso, limitando efectivamente los efectos de la audibilidad analógica. Los impulsos cortos tienen un efecto mínimo sobre el flujo de datos digital y aumentan la audibilidad de la señal analógica.

Se utiliza un método similar para el modo totalmente digital, salvo que no se efectúa la recepción y demodulación analógica ni la mezcla de audio.

A continuación se presentan algunos receptores IBOC y sus características.

### *JVC*



Precio: \$299

Capacidad de multicast

Capacidad de recepción: Recepción AM/FM convencional y digital

Recepción de datos

CD/CD-R/CD-RW

Potencia de salida: 200W máximo (50W x 4), 20X 4 (RMS)

Formato de audio: MP3, WMA compatible con etiquetas ID3/WMA

Entrada: 1 línea auxiliar

1 salida frontal y 1 salida posterior, revestidos en oro

1 salida subwoofer, revestida en oro

Fuente de poder: 12v DC

Tipo: Móvil

### *SANYO*



Precio: \$299

Capacidad de multicast

Capacidad de recepción: Recepción AM/FM convencional y digital

Recepción de datos

CD/CD-R/CD-RW

Potencia de salida: 50 Watts x 4 Canales MOS-FET

Formato de audio: MP3, WMA

Entradas/Salidas: 1 entrada auxiliar en el panel frontal

2 pares de salidas RCA

1 salida subwoofer

Fuente de poder: 12v DC

Tipo: Móvil

### ***RADIOSOPHY***



Precio: \$269

Capacidad de multicast: Recibe múltiples flujos en una única frecuencia FM

Capacidad de recepción: Recepción AM/FM convencional y digital

Recepción de datos

Salidas/Entradas: 1 salida óptica (Audio digital Toslink™)

1 línea auxiliar (salida RCA estéreo)

1 puerto USB estándar tipo B para actualizaciones

1 mini conector para auricular

Fuente de poder: 12v DC @ 3A o cualquier fuente de 12v externa

Tipo: Fijo y portátil

### ***SANGEAN***



Precio: \$249

Capacidad de multicast

Capacidad de recepción: Recepción AM/FM híbrida y totalmente digital

Recepción de datos

Salidas/Entradas: 1 salida óptica SPDIF

1 línea auxiliar

1 mini conector para auricular

Fuente de poder: 12v DC

Tipo: Fijo y portátil

### 3.3.1.10 Arquitectura del sistema IBOC

Existen transmisores AM convencionales que pueden ser actualizados a IBOC, dependiendo del año de fabricación y del fabricante, se puede agregar filtros moduladores, amplificadores de potencia, y un excitador. En este caso por no necesitar de grandes cambios el costo de conversión hacia IBOC es pequeño.

El sistema AM requiere un excitador IBOC separado que module en fase a la portadora AM. Los transmisores modernos de estado sólido diseñados para operar con estéreo AM, probablemente tendrán pequeños problemas en migrar hacia IBOC, ya que las características de funcionamiento que permiten un buen estéreo AM son casi idénticas a aquellas requeridas para una buena transmisión IBOC. Se requerirá ciertas modificaciones en el transmisor, y lo más probable serán simples y económicas para algunos modelos. Por ejemplo, una conversión de un transmisor AM puede requerir menos de \$15 en componentes y puede ser realizada entre 30 minutos.

Para una futura implementación de IBOC, lo recomendable es adquirir o modificar primeramente un transmisor que sea compatible con un excitador IBOC, a fin de seguir transmitiendo la programación analógica antes de empezar con una transmisión digital. Cuando la estación este lista para la conversión digital se adquirirá el excitador IBOC. En las opciones que se presentan a continuación se considera este caso, ya que es el más aconsejable para un proceso de conversión en cuanto a costo. El transmisor debe tener suficiente ancho de banda para comunicar la señal IBOC sin atenuación, idealmente de 50 kHz o más.

Si los actuales equipos de transmisión están casi obsoletos, es preferible invertir en un nuevo transmisor IBOC. Actualmente en el mercado se dispone de una gran variedad de transmisores AM IBOC, fabricantes como Nautel y Harris nos proporcionan estos equipos según nuestras necesidades.

**Opción 1:** En la figura 3.6 se muestra un diagrama de bloques del proceso inicial de conversión, considerando un modo de transmisión híbrida. Se utiliza un switch

para conmutar al programa convencional en caso de que el excitador IBOC falle. En esta configuración se debe tener en cuenta que se utiliza una consola analógica, por lo que se aconseja utilizar un procesador de audio analógico y digital en el lado del transmisor, de esta manera se proporciona una señal de audio de buena calidad; el procesamiento de audio puede realizarse de forma separada (o compuesta). El excitador IBOC posee entradas analógicas y digitales, a fin de procesar el audio proveniente de toda clase de fuentes.

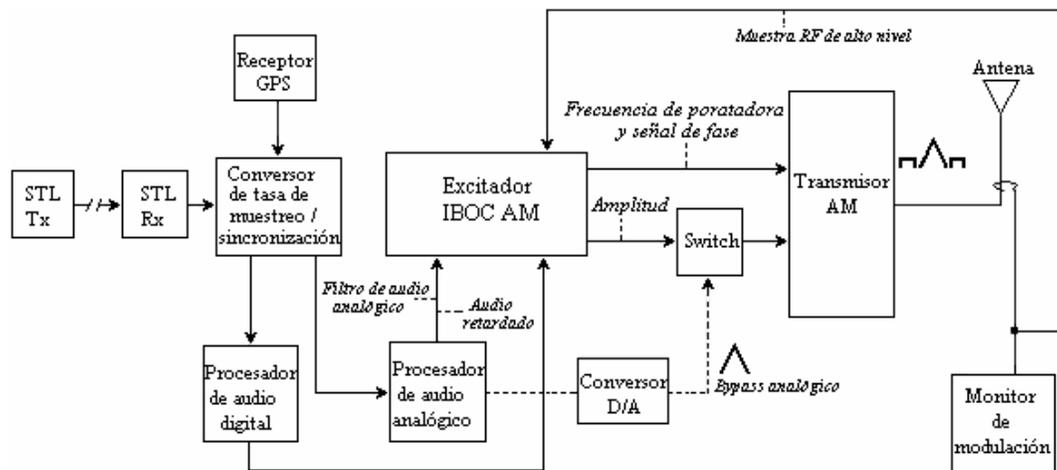


Figura 3.6: Sistema de radiodifusión IBOC

**Convertor de tasa de muestreo y sincronización:** Acepta señales AES desde 32 a 48 kHz desde el STL, realiza una conversión de tasa de muestreo de bajo jitter a 44.1 kHz, requerido por el excitador, y sincroniza todo el audio a una señal de referencia GPS.

**Distribución de audio:** Una vez convertido a 44.1 kHz, el flujo de audio AES debe ser dividido a fin de suministrar caminos separados para los procesadores de audio analógico y digital. También se puede proporcionar una salida auxiliar para monitorear, examinar u otra aplicación que requiera el usuario. Adicionalmente, también se puede proveer otros dos circuitos de distribución AES independientes, a fin de dividir el flujo digital para un excitador de redundancia.

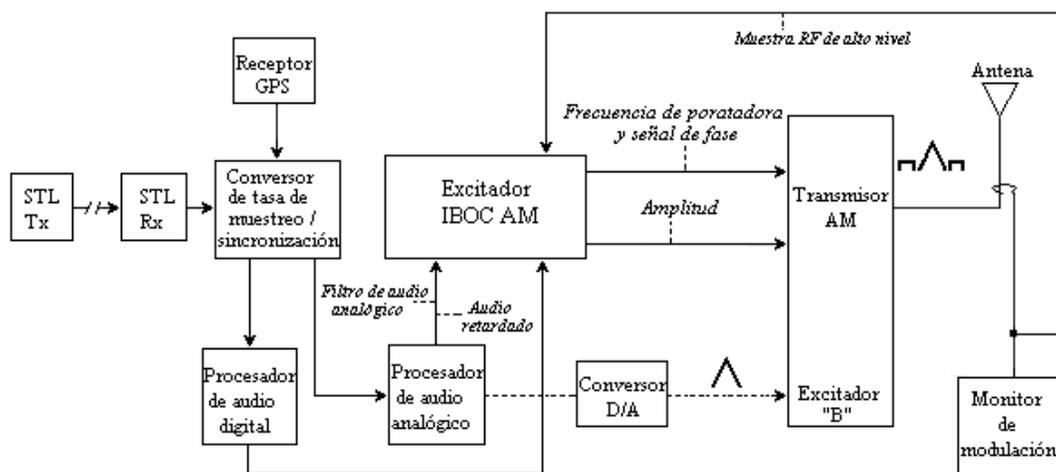
**Conmutación bypass:** La salida del excitador hacia el transmisor consiste de una señal *amplitud*, la cual reemplaza la entrada del transmisor para el audio

analógico, y una señal *fase* la cual reemplaza al oscilador interno del transmisor. Cuando el excitador IBOC es removido del servicio, se necesita un mecanismo para restablecer la entrada analógica del transmisor, y el oscilador interno del transmisor debe ser rehabilitado para suministrar transmisiones RF. Se proporciona la amplitud necesaria para la conmutación bypass analógica, y se suministra un voltaje de control (+5V) para el relé externo de la señal fase.

La ubicación de los procesadores de audio es preferible en el lado del estudio, sin embargo, dependiendo de la capacidad de transporte del STL y de la confiabilidad del enlace se ubica a los procesadores en el lado de transmisión.

**Opción 2:** Esta configuración es similar a la anterior, sino que en lugar del switch se utiliza un excitador "B", que sirve como una alimentación completamente redundante para el AM convencional en el transmisor existente.

En muchos casos en el transmisor AM convencional se necesita modificar el "circuito mezclador" por un detector de cruce por cero, ya que se trabaja con señales digitales.



**Figura 3.7: Sistema de radiodifusión IBOC sin la conmutación bypass**

Al realizar la conversión se necesita ajustar las opciones de transmisión del excitador IBOC, ajuste de la magnitud de amplitud y de fase, y del retardo por diversidad del audio analógico.

**Opción 3:** Similar a las dos opciones anteriores, pero considerando la utilización de una consola digital con salida de audio AES, por lo que en el lado de transmisión se utilizaría un único procesador de audio (salidas separadas de audio analógico y audio digital AES). El procesador de audio sirve para mejorar la calidad de la señal de audio, este dispositivo se utiliza dependiendo del comportamiento y de las características del sistema de radiodifusión; ya que el excitador IBOC dispone de tarjetas de sonido internas, en algunos casos no sería necesario un procesador de audio externo.

Si la conexión al excitador "B" es unidireccional sirve para un programa monofónico; en cambio, si es bidireccional sirve para un audio estereofónico.

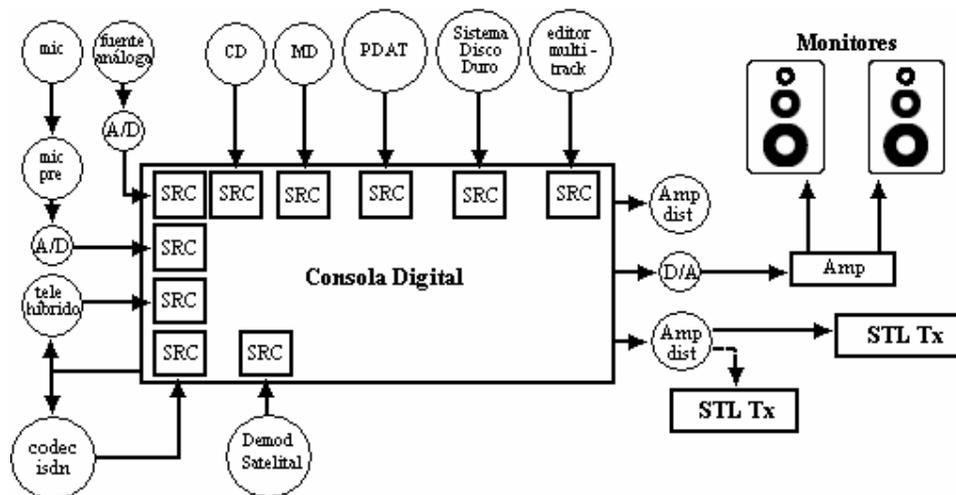


Figura 3.8: Diagrama de bloques de una consola digital

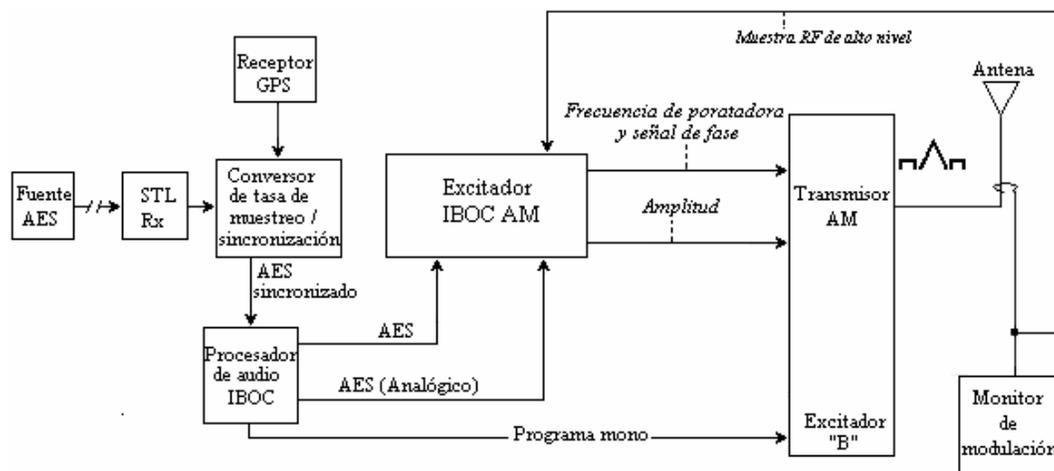


Figura 3.9: Sistema de radiodifusión IBOC

Los sistemas anteriores pueden proporcionar dos tipos de servicios de datos:

- 1) Un servicio de datos básico, es decir, los datos asociados al MPS, en donde se provee el nombre de la estación y un mensaje.
- 2) El programa de audio sumado al PSD (datos MPS y SPS), donde se requiere de un servidor de contenido y que el excitador IBOC disponga de un puerto serial o Ethernet para los datos.

**Opción 4:** La siguiente arquitectura del sistema IBOC se conoce como de tercera generación, en donde, se utiliza adicionalmente un exportador (codec) y un importador (para las aplicaciones AAS) juntamente con un software de administración. Esta arquitectura se utiliza en el modo de transmisión completamente digital, donde se permite ofrecer un completo servicio de datos, se incluye los datos del MPS, SPS, y AAS. Los servicios de datos pueden provenir de redes LAN/WAN interconectadas al sistema de radio IBOC.

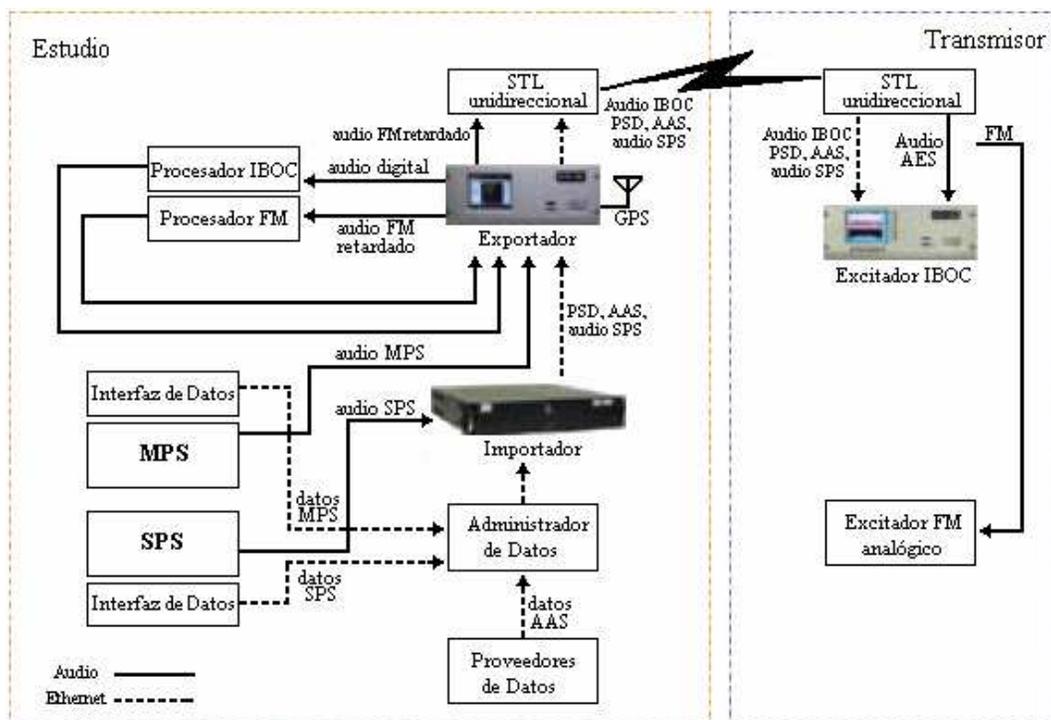


Figura 3.10: Arquitectura del sistema FM IBOC de tercera generación

Algunos de los beneficios de este tipo de arquitectura es el servicio de multicast, lo que consiste en canales adicionales de audio digital (SPS) sobre la misma frecuencia, permitiendo seleccionar varias programaciones en una única frecuencia. Otro servicio es el tunneling de datos, el cual permite una transferencia o descarga de archivos. Este tipo de arquitectura es válida solamente para radio estaciones en FM.

### 3.3.1.11 Costos de conversión

Existe una variedad de opciones dependiendo de la situación actual de una estación AM, por lo que los costos de conversión a AM digital dependerán de los requerimientos de la estación, del presupuesto del radiodifusor, y también del fabricante. Estos costos se estiman dentro de un cierto rango.

El costo total para convertirse a IBOC está sujeto a diversos factores, entre estos:

- La potencia de la estación.
- Problemas en el sistema de antenas.
- Si el equipo existente cumple con los requerimientos de IBOC, o que las modificaciones disponibles estén respaldadas por el fabricante.
- Disposición de un STL y estudios digitales (no es prioritario).
- Ampliación de las instalaciones para acomodar el nuevo equipo.

A continuación se presenta algunos productos con sus correspondientes precios de dos empresas fabricantes con experiencia en IBOC, como son Harris y Nautel:

#### **Nautel**

NE IBOC Excitador con *NE IBOC Unidad Auxiliar	\$26500
+ Transmisor (Jazz, XR)	hasta \$125000

#### **Harris**

DEXSTAR Excitador IBOC con *epal	\$35000
+ Transmisor (DX, DX Destiny, DAX o Gates)	hasta \$130000

### Procesadores de Audio

Orban 6200 Procesador de audio analógico	\$6250
Orban 9200D Procesador de audio digital	\$4750
Orban AM 9400 (procesador analógico y digital)	\$7990
Omnia 3 Procesador analógico	\$4310
Omnia 3 Procesador digital	\$4310
Omnia 5EX HD+AM Procesador AES (analógico y digital)	\$7539

### Otros costos (referidos a Nautel y Harris)

UPS	\$350
Equipo de estudio digital (si se requiere)	\$1000 - \$30000
~ Otros equipos / costos	\$12000 - \$30000
⌘ Licencia de Ibiquity (anual)	\$4125

\* Este dispositivo realiza la sincronización, conversión de tasa de muestreo, distribución de audio AES, y la conmutación bypass. También permite agregar un segundo excitador IBOC como redundancia del sistema.

+ Nuevo o existente.

~ Nuevo o existente. STL, protección contra sobretensión, montaje AC, rack y accesorios, sistema de antenas, redes de acoplamiento, etc.

⌘ Este precio corresponde a una estación en EE. UU., por lo que para nuestro país este costo puede diferir.

Si una instalación tiene equipos modernos, la conversión a digital puede ser tan simple como agregar un excitador digital, y notificar al organismo de control que pronto transmitirá en formato digital. Algunas estaciones pueden necesitar una menor modificación del equipo existente, y otras pueden necesitar nuevos transmisores. Los costos de consumo de potencia se incrementarán levemente para un sistema AM. Asumiendo que el transmisor existente es de estado sólido o de tecnología PDM, y el sistema de antena es relativamente de banda ancha, un excitador es algunas veces todo lo necesario para convertirse en digital. También, comparado con FM, la mayoría de estaciones AM encontrarán que la implementación de una transmisión IBOC es más fácil y menos costosa. Por ésta razón, la velocidad esperada de adopción y el éxito en el mercado para un sistema digital AM se considera generalmente mucho mejor.

### 3.3.2 SISTEMA DRM

Igual que para el sistema IBOC, la migración para el sistema DRM se considera en base a cada parte del sistema que conforma una estación de radiodifusión. Un punto importante que vale la pena resaltar es que el sistema DRM fue concebido para el uso en todas las bandas por debajo de los 30 MHz, es decir:

- (LF) Ondas kilométricas: 148,5 kHz – 283,5 kHz<sup>65</sup>
- (MF) Ondas hectométricas: 526,5 kHz – 1606,5 kHz<sup>66</sup>  
525 kHz – 1705 kHz<sup>67</sup>
- (HF) Ondas decamétricas: 2.3 MHz – 27 MHz (Onda Corta)

Otro punto que cabe recalcar es que en la región 2 de la ITU, correspondiente al continente Americano, y por consiguiente a la que pertenece nuestro país, no existe ningún uso de la banda de ondas kilométricas, por lo que el posible uso del sistema DRM está definido para las bandas MF y HF únicamente.

Luego que en el capítulo 2 analizamos la funcionalidad del sistema DRM, en ésta sección cabe señalar los requerimientos de éstas características en los diferentes subsistemas que componen una estación, es así que analizaremos los nuevos subsistemas que deben ser añadidos (servidor de contenido DRM, conversores A/D, moduladores DRM), los mismos que se interconectan mediante el protocolo específico DCP<sup>68</sup>. De igual manera se presentarán sugerencias para ocupar la infraestructura actual tomando ciertas consideraciones.

#### 3.3.2.1 Estudio

El primer paso a considerarse dentro de la implementación de un sistema de radiodifusión digital, constituye la implementación de conversores A/D como etapa previa para adaptar la señal análoga al nuevo formato digital. Dentro de esta

---

<sup>65</sup> Región 1 de la ITU.

<sup>66</sup> Región 1 y 3 de la ITU.

<sup>67</sup> Región 2 de la ITU.

<sup>68</sup> DCP: Protocolo de distribución y comunicación, diseñado para el enlace estudio transmisor.

consideración los radiodifusores deben tomar en cuenta las capacidades, presupuesto, y los planes de expansión, para dimensionar de manera adecuada la adquisición de éstos equipos.

Al igual que en el sistema IBOC, es conveniente adquirir equipos que brinden la suficiente protección a la señal digital, y además que cuenten con características que permitan adaptar la señal de entrada al proceso digital, para prevenir efectos no deseables en la señal de salida<sup>69</sup>.

#### ***3.3.2.1.1 Consolas / Fuente de Audio***

Considerando que estamos tratando con un sistema de radiodifusión digital, lo primero a inspeccionarse en el proceso de migración es la configuración de los equipos actuales en cuanto tiene que ver a los dispositivos de entrada y salida, la consola es el único equipo que podrá ayudarnos a una conversión completamente digital en un futuro. Por esta razón es muy recomendable actualizar la actual consola a una que presente salidas digitales<sup>70</sup>, y de preferencia que presente frecuencia de muestreo de 44.1 kHz, con el fin de proveer al sistema múltiples tasas de muestreo, variedad de formatos digitales y lo más importante que permita el manejo de señales en formato analógico.

#### ***3.3.2.1.2 Cableado / Cronometraje***

Puesto que el cableado es el que distribuye los datos digitales al sistema de radiodifusión, es importante que sea prolijo y disponga de técnicas apropiadas de puesta a tierra con el fin de alcanzar una óptima calidad en los datos.

Dependiendo del tipo de equipo usado existirán también diferentes requerimientos en cuanto al cableado, cabe destacar que dentro de un equipo básico que permita afrontar las primeras emisiones del sistema DRM se debe disponer lo siguiente:

---

<sup>69</sup> Estos efectos podrían ser ruidos indeseables causados por el manejo inapropiado de la señal digital.

<sup>70</sup> Las salidas digitales se deberán adecuar a los requerimientos de las entradas del excitador DRM, algunos sistemas requieren entradas AES/EBU para su funcionamiento.

- Para el sistema de conexiones analógicas de audio, generalmente se usa un cable blindado de dos conductores con malla. (Belden 8451).
- Para el sistema de conexiones digitales, generalmente se requiere un cable blindado con malla metálica de dos conductores e impedancia de  $110 \Omega$ . (Belden 1800A).
- Para el sistema de conexiones lógicas, generalmente se usa un cable flexible 22 AWG, multiconductor, el número de conductores que se usen depende de la aplicación y está netamente ligado a las características del equipo. (Belden 8457).

En el caso de que el sistema disponga de equipos ruteadores para administrar el tipo de datos (audio analógico o digital) a ser distribuido a diferentes estaciones, a parte del cableado anterior, generalmente se requiere cableado Ethernet CAT-5e en el caso de enlaces de cobre. En el caso de que se utilice enlace de fibra óptica se prefiere las fibras multimodo 50/125.

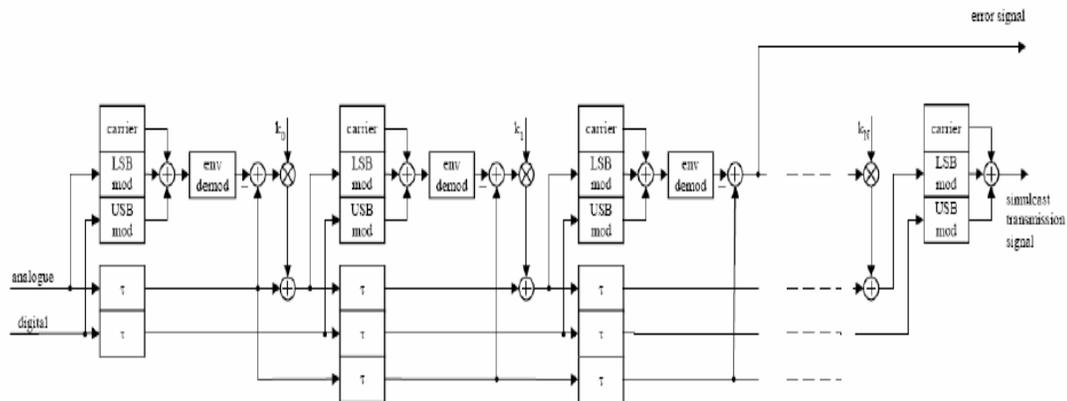
Otro aspecto fundamental en la implementación digital constituye las referencias de tiempo (sincronización), generalmente los equipos que operan con señales digitales tienen un reloj interno que sincroniza todas las operaciones, además sería conveniente que los mismos dispongan de entradas externas de sincronización en el caso de que se desee ampliar la radiodifusora y se cuente con varios equipos que requieran sincronizarse a una referencia común. Para sistemas más complejos y remotos los sistemas deberán permitir el cronometraje de equipos mediante referencias de tiempo internacionales<sup>71</sup>.

#### ***3.3.2.1.3 Retardo por diversidad***

Cuando se transmiten señales analógicas y digitales, las primeras se ven retardadas respecto a las segundas, debido al procesamiento digital a la que son sometidas, en la siguiente figura se presenta la generación de la señal simulcast para el sistema DRM:

---

<sup>71</sup> El sistema GPS sería una buena opción y es el más utilizado en los equipos DRM.



**Figura 3.11: Generación de la señal simulcast**

En la figura se observa claramente que la señal analógica se ubica en la banda lateral inferior y la señal digital en la banda lateral superior, luego de esto hay un proceso iterativo que permite obtener una señal analógica exacta, este criterio depende del radiodifusor, ya que de acuerdo al número de iteraciones la señal analógica a transmitir presentará una mayor exactitud respecto a la señal original.

El factor  $\tau$  presente en la figura 3.11 representa los retardos que sufren las señales en el proceso de generación de la señal de transmisión y son dependientes de las  $N$  iteraciones que se usen para obtener la señal final.

Cabe anotar que en cuanto a los retardos motivados por el procesamiento digital de señales, depende básicamente del tipo de codificación utilizada, además del tipo de entrelazado, para un entrelazado corto el retardo presentado está entre 800 ms y 1s, en cambio, para un entrelazado largo este tiempo puede variar de 2.4s a 3s.

Los equipos existentes de transmisión DRM simulcast, disponen de mecanismos que permiten superar este inconveniente con el fin de una combinación suave entre los dos tipos de señales, por lo que no sería un elemento determinante dentro del proceso de migración.

#### **3.3.2.1.4 Procesamiento**

En este punto se consideran las ubicaciones relativas de los equipos para transmitir la señal digital o simulcast dentro del sistema DRM. Al igual que para IBOC dentro de los servidores de contenido o generadores de múltiplex, existe cierta flexibilidad en cuanto a su ubicación, típicamente se encuentran en el estudio central, a pesar de que en algunos sistemas pudieran estar ubicados en el transmisor. Por especificación del estándar DRM, el modulador del sistema será invariablemente ubicado en el sitio de transmisión.

Otro punto importante de tratar es que todos los equipos deben disponer de una referencia de tiempo común, para lograr una correcta sincronización.

En cuanto a los servidores de audio se debe procurar que los datos transportados por los mismos, sean enviados por enlaces fiables, que reduzcan al máximo procesamientos de la señal digital, con el fin de no obtener productos negativos de estos procesos.

En los enlaces STL, desde el servidor de contenido hacia el modulador, se ha creado un protocolo específico que administre de manera eficaz la señal con herramientas que permitan la transmisión confiable de los datos en formato digital, el cual se denomina DCP y se lo describe más adelante.

#### **3.3.2.2 STL**

Dentro del STL, el sistema DRM propone el protocolo de comunicación y distribución DCP, para satisfacer las necesidades existentes e implementar un enlace fiable. Este protocolo es de distribución libre y se utiliza para cualquier propósito, fue creado por el consorcio DRM y estandarizado por la ETSI<sup>72</sup>.

El Protocolo de Distribución y Comunicación se diseñó específicamente para permitir una comunicación multicast fiable de un servidor central a varios

---

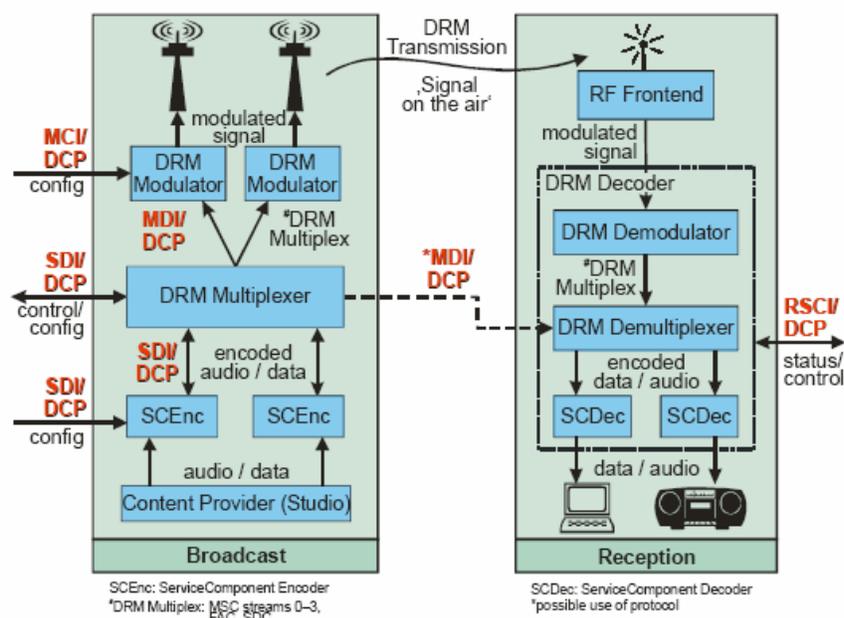
<sup>72</sup> Especificación técnica ETSI TS 102 358 v1.1.1

receptores. Los errores en el enlace de comunicaciones pueden detectarse y corregirse usando un código FEC llamado Reed Solomon. Como resultado, los enlaces de comunicaciones empleados pueden ser uni-direccionales, logrando de esta manera disminuir los costos.

El uso del protocolo DCP, se sugiere en las siguientes partes del sistema de radiodifusión DRM:

- MDI (Interfaz de distribución del Multiplexor): Cubre el transporte de datos y comandos desde el Multiplexor DRM al modulador DRM.
- MCI (Interfaz de Control del Modulador): Cubre la señalización remota y comandos de configuración del modulador DRM.
- SDI (Interfaz de Distribución de Servicio): Cubre el transporte de datos y comandos desde el estudio y otras fuentes al multiplexor DRM.
- RSCI (Interfaz de Control y Estado del Receptor): Cubre el transporte de información de estado del receptor.

La figura 3.12 nos muestra de manera más didáctica las partes del sistema donde se aplica el protocolo DCP:



**Figura 3.12: Aplicación de DCP en el sistema DRM**

El uso del protocolo DCP estandarizado por DRM facilita la comunicación fiable de datos entre los diferentes subsistemas dentro de la cadena de transmisión DRM, de esta manera conceptualmente se pueden presentar los siguientes escenarios:

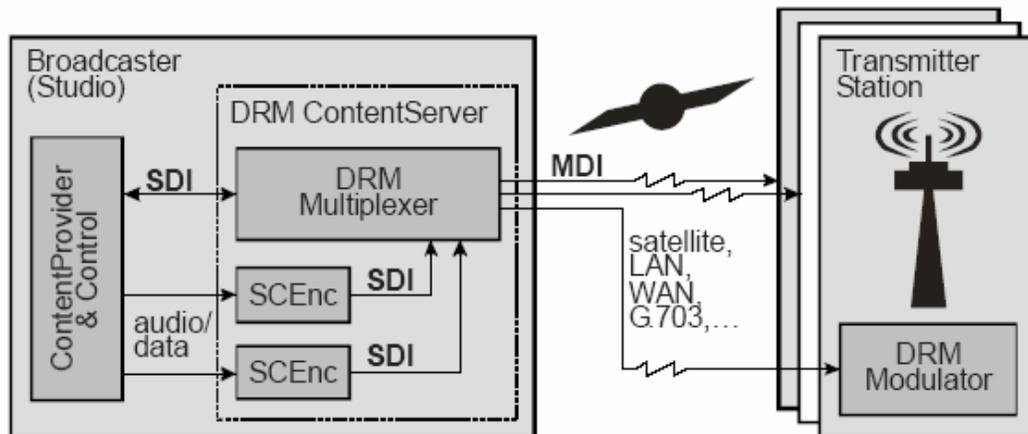


Figura 3.13: Esquema de transmisión DRM básico

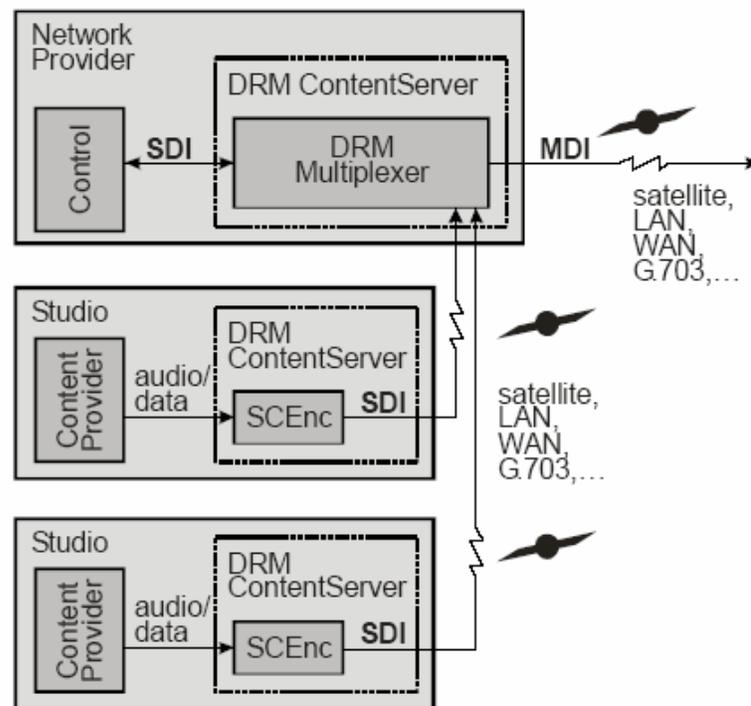


Figura 3.14: Esquema de transmisión DRM centralizado

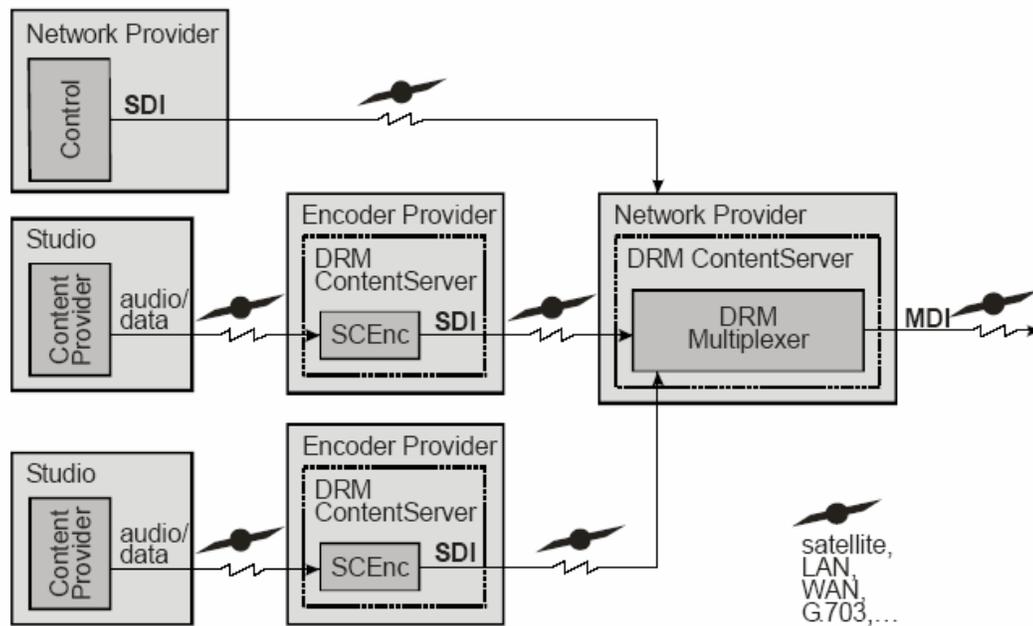


Figura 3.15: Esquema de transmisión DRM con varios proveedores de servicio

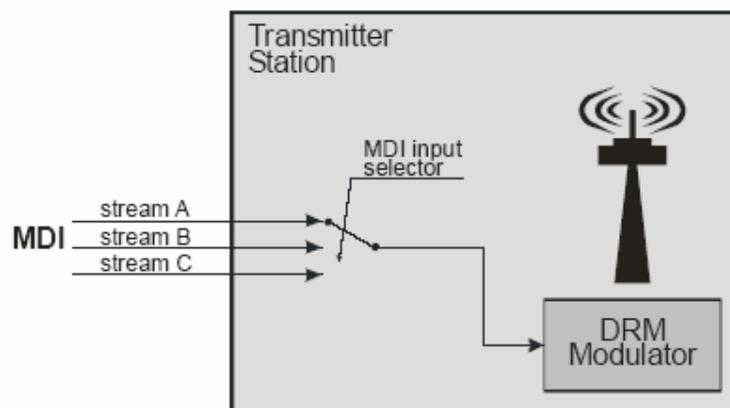
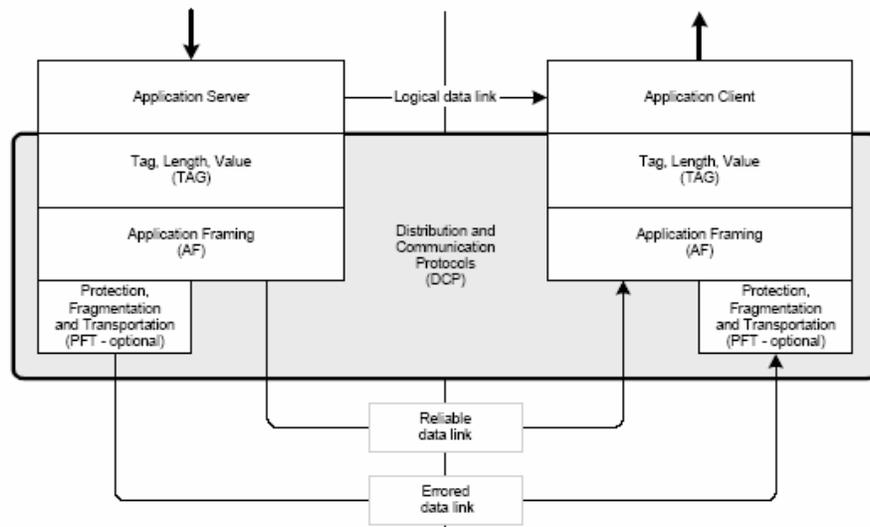


Figura 3.16: Esquema de transmisión desde el lado del transmisor

Tras conocer las aplicaciones que tiene el protocolo DCP conviene conocer su estructura y arquitectura.

### 3.3.2.2.1 Arquitectura del protocolo

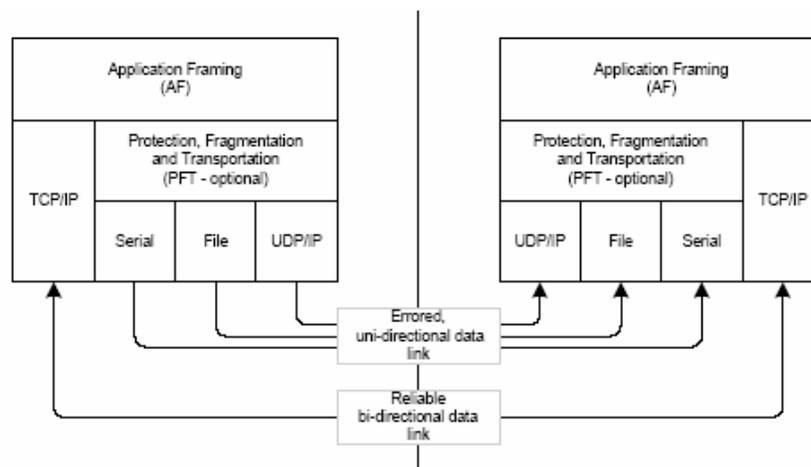
La aplicación de datos se lleva del servidor al receptor a través de varias capas, como se muestra en la figura 3.17. Los datos de cada capa se encapsulan en una serie de paquetes.



**Figura 3.17: Capas del protocolo DCP**

La capa TAG encapsula los elementos de los datos principales de longitud arbitraria, mientras que la capa AF combina los datos elementales en un bloque adhesivo de datos relacionados. La capa PFT opcional permite la fragmentación de los paquetes AF potencialmente grandes, y agrega la posibilidad de tener un direccionamiento y FEC.

Los paquetes AF o los fragmentos PFT pueden transportarse por cualquiera de los varios enlaces físicos, incluyendo (pero no limitado) al serial asíncrono, UDP/IP e incluso guardarlo como un archivo en un disco, lo expuesto anteriormente se lo verifica en la figura 3.18:



**Figura 3.18: Protocolos compatibles a las capas de transmisión DCP**

### 3.3.2.2.1.1 Capa TAG

La capa TAG forma la interfaz entre la aplicación y el DCP. Dentro de esta capa, los TAG Ítems encapsulan los elementos de los datos individuales. Se combinan los TAG Ítems para formar un TAG Packet, es decir forman un bloque adhesivo lógico de aplicación de datos. Así para definir una nueva aplicación solamente se necesita definir una serie de TAG Ítems e imponer cualquier límite necesario en las características del DCP.

Un **TAG Packet** es el conjunto de varios TAG Ítems. Los TAG Packets no contienen ninguna sincronización o corrección de errores y existirán sólo dentro del equipo. Puede incluir 7 bytes de relleno después del último TAG Ítem (que serán bytes indefinidos, los cuales serán ignorados por todos los receptores). Ya que la longitud más corta de un TAG Ítem es 8 bytes, pueden identificarse fácilmente los TAG Packet de relleno. Si se requieren más de 7 bytes de relleno, se debe usar el TAG Ítem especial \*dmy. No tiene ningún encabezado y no hay ninguna manera de determinar la longitud total de los TAG Ítems en el paquete; estas funciones se logran usando la capa AF que se describirá más adelante.

El **TAG Ítem** es una unidad elemental DCP que combina en un único dato lógico el nombre, la longitud y el valor de los datos. Se requiere el relleno del TAG Ítem para hacer de su longitud total un número entero de bytes<sup>73</sup>.

Cada aplicación es libre de definir cualquier tipo de tag ítem, excepto los TAG ítem con el carácter ASCII "\*", los cuales se denominan TAG ítems de control.

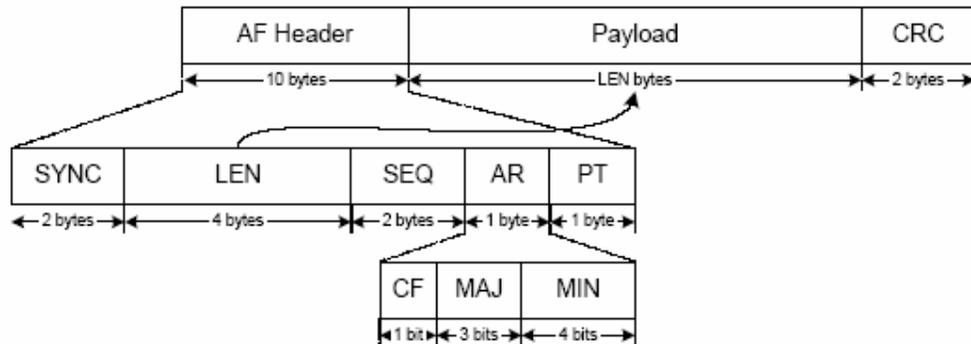
### 3.3.2.2.1.2 Capa AF (Entramado de aplicación)

La capa AF encapsula un solo TAG Packet en una simple estructura, conveniente para la circulación entre el equipo conectado por enlaces libre de errores. Tales enlaces pueden ser proporcionados por las redes existentes como TCP/IP, o por

---

<sup>73</sup> Para mayor información acerca de la conformación, estructura de los paquetes y paquetes especiales dentro de la capa TAG referirse a la especificación ETSI TS 102 821 V1.2.1.

la capa PFT descrita más adelante. El paquete AF está estructurado por un encabezado, la carga útil y un CRC, como se muestra en la figura 3.19:



**Figura 3.19: Estructura de un paquete AF**

#### *Descripción de campos de un paquete AF*

SYNC: Dos bytes de sincronización, representación ASCII de "AF".

LEN: 4 bytes que señalan la longitud del payload en bytes.

SEQ: Cada paquete deberá incrementar este campo en 1, este campo comienza su conteo desde FFFF a 0000.

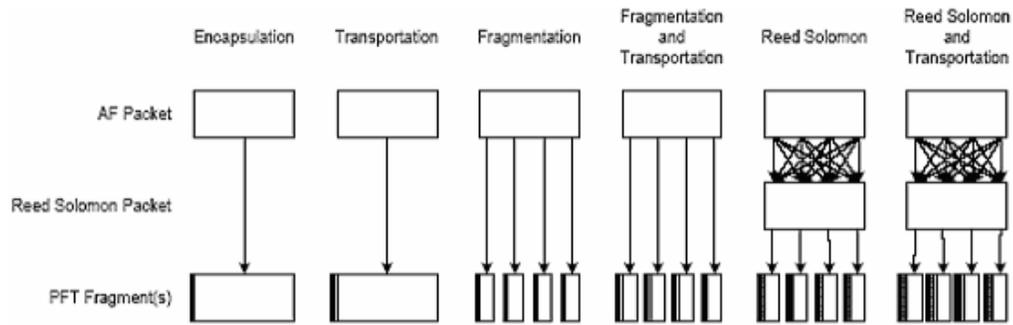
AR: Controla la revisión del protocolo AF, consta de tres campos: CF, señala la utilización de códigos de redundancia cíclica, MAJ y MIN, señalan una revisión mayor o menor del protocolo.

PT: Campo que señala el tipo de protocolo.

#### **3.3.2.2.1.3 Capa PFT**

La capa de Protección, Fragmentación y Transporte, o capa PFT opcional proporciona, como su nombre lo sugiere, tres funciones separadas. La primera usa un código de protección de errores Reed Solomon que puede detectar y corregir los errores de bit individuales y también puede reconstruir paquetes enteros perdidos. El segundo es la fragmentación, divide los paquetes grandes en unidades más pequeñas, convenientes para enlaces de datos. Finalmente, la capa PFT permite una forma limitada de dirección de transporte para que las capas más bajas que no se incluyen en la dirección (por ejemplo el enlace serial

RS232) puedan usarse con las múltiples secuencias de transporte. No es obligatorio que todas las tres funciones se usen simultáneamente. Además, cada una de las tres opciones anteriores puede combinarse con la dirección de transporte si se desea. Estas opciones se resumen en la figura 3.20:



**Figura 3.20: Opciones de utilización de la capa PFT**

### *Protección*

Los códigos Reed Solomon son códigos correctores de errores basados en bloques con un amplio rango de aplicaciones en comunicaciones digitales y de almacenamiento. Consisten en el uso de esquemas de codificación compleja que añaden redundancia a nivel de bit. Los códigos FEC se utilizan en los sistemas de comunicación que operan a tiempo real.

En general la codificación FEC, es una operación que codifica un grupo de bits correspondientes al mensaje que se desea transmitir, se le agrega un grupo de bits conocidos como paridad (redundancia) para fines de detección y corrección de errores. Permite la recuperación sin necesidad de retransmisiones, y su uso tiene sentido cuando las aplicaciones son sensibles a los retardos que puedan provocar las retransmisiones. Reed Solomon es un tipo de código de corrección de errores hacia delante y es el más apropiado para ráfagas de errores.

### *Fragmentación*

La fragmentación puede aplicarse directamente a un paquete AF o a un paquete RS pre-procesado. La fragmentación divide los datos del paquete AF o RS

original en varios fragmentos separados. Al llevar un paquete Reed Solomon entrelazado, hasta  $m$  de estos fragmentos pueden perderse de cada paquete sin datos perdidos<sup>74</sup>. Cada fragmento PFT producido de un solo paquete AF o RS tendrá los mismos valores en todo el campo del encabezado PFT salvo algunos campos cuyo valor depende de cada paquete.

#### *Direccionamiento de transporte*

Los campos de direccionamiento de la capa PFT, Fuente y Destino identifican el remitente y destinatario de un paquete. El valor  $FFFF_{16}$  se usará para indicar “difusión”, todos los otros valores indican una dirección específica.

### **3.3.2.3 Localización del transmisor**

#### *3.3.2.3.1 Consideraciones de la ubicación*

En este punto cabe considerar primeramente el espacio físico, de acuerdo a planes de expansión futuros, a los tipos de transmisión, a los sistemas adicionales utilizados, así como también los espacios para imprevistos. La ubicación del modulador en el sistema DRM, invariablemente será en el lado de transmisión por requerimientos de la especificación técnica.

#### *3.3.2.3.2 Puesta a tierra / Protección*

Muchos de los equipos involucrados en la implementación del sistema digital se han modernizado a tal extremo de ser casi verdaderas computadoras, requiriendo una mayor atención en las técnicas de puesta a tierra y el uso de acondicionadores de potencia. Por tal razón se debe considerar que las terminaciones del cableado estén correctamente terminadas y protegidas, además considerando que la mayoría de equipos necesitarían un tiempo de recuperación en el caso de una suspensión temporal de energía eléctrica,

---

<sup>74</sup> Para información sobre la capa PFT referirse a la especificación ETSI TS 102 821 V1.2.1.

también se debe considerar la implementación de un UPS que nos permita superar estos inconvenientes.

#### **3.3.2.3.3 Transmisor**

Una de las características de DRM es la capacidad de trabajar inicialmente con sistemas analógicos, para posteriormente migrar hacia un sistema completamente digital, por ésta razón los transmisores deben poseer esta capacidad. Esto permite maximizar el uso de la tecnología existente de transmisión y minimizar la inversión para introducir los servicios prestados por DRM.

La condición básica que se requiere en cuanto a la tecnología de transmisión para señales DRM, es la linealidad en los amplificadores de potencia, se tratará con mayor detalle los requerimientos del transmisor en la sección 3.4.

#### **3.3.2.3.4 Funcionamiento de la señal análoga (SIMULCAST)**

##### *Límites espectrales para la señal SIMULCAST*

Para no comprometer el funcionamiento de las señales analógicas que se usan en la actualidad, la ITU<sup>75</sup> ha establecido recomendaciones que indican las relaciones de protección que deben tener estos dos tipos de señales. A continuación se describen las siguientes características:

- El nivel de la señal digital debe caer 16 dB con respecto a la portadora analógica considerando que se utilicen receptores de bajo costo, para receptores de buena calidad este nivel baja a tan solo 6 dB.
- La introducción de una señal digital en un entorno existente, debe garantizar que la nueva señal no causará a las estaciones AM una interferencia superior a la que causa la señal AM que sustituye la señal digital. De esta manera se definen diferentes valores de relaciones de protección de RF en dB para conservar una difusión AM adecuada.

---

<sup>75</sup> BS.1615: recomendación ITU referente a los parámetros de planeación de un sistema DRM.

Señal deseada	Señal no deseada	Separación de frecuencia $f_{no\ deseada} - f_{deseada}$ (kHz)												Parámetros		
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20	$B_{DRM}$ (kHz)	$A_{AF(2)}^{(1)}$ (dB)
AM	DRM_A0	-50,4	-50,4	-49,1	-35,6	-28,5	6,5	6,6	-31,1	-46,9	-48,3	-50,4	-50,4	-50,4	4,5	-
AM	DRM_A1	-50,9	-50,6	-47,9	-32,5	-24,5	6,1	6,1	-31,3	-46	-47,7	-50,9	-50,9	-50,9	5	-
AM	DRM_A2	-48,9	-47	-43,6	-34,5	-29,8	3,4	6,6	3,4	-29,8	-34,5	-43,6	-47	-48,9	9	-
AM	DRM_A3	-47,4	-45,5	-42,1	-32,4	-26,5	3,1	6,1	3,1	-26,5	-32,4	-42,1	-45,5	-47,4	10	-
AM	DRM_B0	-50,4	-50,4	-49	-35,5	-28,4	6,4	6,6	-30,9	-46,7	-48,2	-50,4	-50,4	-50,4	4,5	-
AM	DRM_B1	-51	-50,5	-47,6	-32	-23,8	6	6	-31,1	-45,7	-47,4	-51	-51	-51	5	-
AM	DRM_B2	-48,8	-46,9	-43,5	-34,4	-29,7	3,4	6,5	3,4	-29,7	-34,4	-43,5	-46,9	-48,8	9	-
AM	DRM_B3	-47,2	-45,3	-41,9	-32	-25,9	3	6	3	-25,9	-32	-41,9	-45,3	-47,2	10	-
AM	DRM_C3	-47,5	-45,6	-42,2	-32,6	-26,7	3,1	6,1	3,1	-26,7	-32,6	-42,2	-45,6	-47,5	10	-
AM	DRM_D3	-47,4	-45,5	-42,2	-32,4	-26,5	3,1	6,1	3,1	-26,5	-32,4	-42,2	-45,5	-47,4	10	-

Señal AM interferida por una señal digital

**Tabla 3.8: Relaciones de protección de RF relativas entre sistemas de radiodifusión en frecuencias inferiores a 30 MHz (dB)**

Señal deseada	Señal no deseada	Separación de frecuencia $f_{no\ deseada} - f_{deseada}$ (kHz)												Parámetros		
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20	$B_{DRM}$ (kHz)	S/I (dB)
DRM_A0	MA	-57,7	-55,5	-52,2	-46,2	-45	-36,7	0	-3,5	-31,2	-41,1	-47	-50,7	-53	4,5	4,2
DRM_A1	MA	-57,5	-55,2	-52	-45,9	-44,8	-36,6	0	-0,6	-22,8	-38,4	-46,1	-49,8	-52,2	5	4,2
DRM_A2	MA	-54,7	-52,4	-48,8	-42,9	-34	-6,5	0	-6,5	-34	-42,9	-48,8	-52,4	-54,7	9	6,7
DRM_A3	MA	-54	-51,7	-48,1	-40,6	-25,8	-3,6	0	-3,6	-25,8	-40,6	-48,1	-51,7	-54	10	6,7
DRM_B0	MA	-57,7	-55,5	-52,2	-46,1	-45	-36,2	0	-3,5	-30,9	-41,1	-46,9	-50,6	-53	4,5	4,6
DRM_B1	MA	-57,4	-55,2	-51,9	-45,9	-44,7	-36	0	-0,2	-22	-37,6	-46	-49,6	-52	5	4,6
DRM_B2	MA	-54,6	-52,4	-48,8	-42,8	-33,7	-6,4	0	-6,4	-33,7	-42,8	-48,8	-52,4	-54,6	9	7,3
DRM_B3	MA	-53,9	-51,5	-48	-39,9	-25	-3,1	0	-3,1	-25	-39,9	-48	-51,5	-53,9	10	7,3
DRM_C3	MA	-54	-51,7	-48,1	-40,9	-26,1	-3,8	0	-3,8	-26,1	-40,9	-48,1	-51,7	-54	10	7,7
DRM_D3	MA	-54	-51,7	-48,1	-40,7	-25,8	-3,6	0	-3,6	-25,8	-40,7	-48,1	-51,7	-54	10	8,6

Señal DRM interferida por una señal AM

**Tabla 3.9: Relaciones de protección de RF relativas entre sistemas de radiodifusión en frecuencias inferiores a 30 MHz (dB)**

### Límites espectrales para la señal netamente digital

Para dos señales expresamente digitales, utilizando una señal digital (64-QAM, nivel de protección N° 1) interferida por otra señal digital (modos de robustez y tipos de ocupación espectral idénticos), las protecciones de RF necesarias quedan designadas de la siguiente manera:

Señal deseada	Señal no deseada	Separación de frecuencia $f_{no\ deseada} - f_{deseada}$ (kHz)												Parámetros		
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20	$B_{DRM}$ (kHz)	$S/I$ (dB)
DRM_B0	DRM_B0	-60	-59,9	-60	-55,2	-53,2	-40,8	0	-40,8	-53,2	-55,2	-60	-59,9	-60	4,5	16,2
DRM_B0	DRM_B1	-60,1	-60	-59,5	-52,5	-50,4	-37,4	0	-40	-51,6	-53,6	-59,8	-60	-60,1	5	15,7
DRM_B0	DRM_B2	-57,4	-55,7	-52,9	-46,7	-45,1	-36,6	0	-0,8	-35,6	-38,4	-47,7	-51,5	-53,6	9	13,2
DRM_B0	DRM_B3	-55,2	-53,6	-50,7	-44,5	-42,9	-33,1	0	-0,1	-13,6	-36,2	-45,5	-49,3	-51,4	10	12,6
DRM_B1	DRM_B0	-59,4	-59,5	-59,5	-55	-53	-40,8	0	-37,9	-51,7	-53,9	-59,4	-59,5	-59,4	4,5	16,2
DRM_B1	DRM_B1	-60	-60	-59,5	-52,8	-50,8	-37,8	0	-37,8	-50,8	-52,8	-59,5	-60	-60	5	16,2
DRM_B1	DRM_B2	-57,1	-55,4	-52,6	-46,4	-44,9	-36,4	0	-0,1	-13,7	-36,8	-46,6	-50,5	-52,7	9	13,2
DRM_B1	DRM_B3	-55,5	-53,8	-51	-44,8	-43,3	-33,5	0	-0,1	-8,1	-35,2	-45	-48,9	-51,1	10	13,2
DRM_B2	DRM_B0	-57	-56,8	-54,8	-43,4	-39,1	-0,7	0	-40,6	-52,2	-53,9	-57	-57	-57	4,5	15,9
DRM_B2	DRM_B1	-56,9	-56,1	-52,7	-40,2	-14,1	-0,1	0	-39,7	-50,8	-52,5	-56,9	-57	-57	5	15,4
DRM_B2	DRM_B2	-55,1	-53,1	-49,5	-40,7	-38,1	-3,7	0	-3,7	-38,1	-40,7	-49,5	-53,1	-55,1	9	15,9
DRM_B2	DRM_B3	-52,9	-51	-47,4	-38,6	-16,6	-3,2	0	-3,2	-16,6	-38,6	-47,4	-51	-52,9	10	15,4
DRM_B3	DRM_B0	-56,4	-56,2	-53,8	-41,1	-14,1	-0,1	0	-37,7	-50,9	-52,8	-56,4	-56,4	-56,4	4,5	15,9
DRM_B3	DRM_B1	-56,8	-55,7	-52,1	-38,2	-8,2	-0,1	0	-37,6	-50,1	-51,9	-56,7	-57	-57	5	15,9
DRM_B3	DRM_B2	-54,3	-52,3	-48,6	-39,3	-16,7	-3,1	0	-3,1	-16,7	-39,3	-48,6	-52,3	-54,3	9	15,9
DRM_B3	DRM_B3	-52,7	-50,7	-47	-37,7	-11,1	-3,1	0	-3,1	-11,1	-37,7	-47	-50,7	-52,7	10	15,9

Señal DRM interferida por otra señal DRM

**Tabla 3.10: Relaciones de protección de RF relativas entre sistemas de radiodifusión en frecuencias inferiores a 30 MHz (dB)**

Señal deseada	Señal no deseada	Separación de frecuencia $f_{no\ deseada} - f_{deseada}$ (kHz)												Parámetros		
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20	$B_{DRM}$ (kHz)	$S/I$ (dB)
DRM_A0	DRM_A0	-60,1	-60	-60	-55,4	-53,4	-41,2	0	-41,2	-53,4	-55,4	-60	-60	-60,1	4,5	15,8
DRM_A1	DRM_A1	-60	-60	-59,7	-53,3	-51,3	-38,4	0	-38,4	-51,3	-53,3	-59,7	-60	-60	5	15,8
DRM_A2	DRM_A2	-55,1	-53,1	-49,6	-40,8	-38,3	-3,8	0	-3,8	-38,3	-40,8	-49,6	-53,1	-55,1	9	15,3
DRM_A3	DRM_A3	-53	-51	-47,3	-38,1	-12,1	-3,2	0	-3,2	-12,1	-38,1	-47,3	-51	-53	10	15,3
DRM_B0	DRM_B0	-60	-59,9	-60	-55,2	-53,2	-40,8	0	-40,8	-53,2	-55,2	-60	-59,9	-60	4,5	16,2
DRM_B1	DRM_B1	-60	-60	-59,5	-52,8	-50,8	-37,8	0	-37,8	-50,8	-52,8	-59,5	-60	-60	5	16,2
DRM_B2	DRM_B2	-55,1	-53,1	-49,5	-40,7	-38,1	-3,7	0	-3,7	-38,1	-40,7	-49,5	-53,1	-55,1	9	15,9
DRM_B3	DRM_B3	-52,7	-50,7	-47	-37,7	-11,1	-3,1	0	-3,1	-11,1	-37,7	-47	-50,7	-52,7	10	15,9
DRM_C3	DRM_C3	-53,2	-51,1	-47,5	-38,3	-12,6	-3,2	0	-3,2	-12,6	-38,3	-47,5	-51,1	-53,2	10	16,3
DRM_D3	DRM_D3	-53	-51	-47,4	-38,1	-12,2	-3,2	0	-3,2	-12,2	-38,1	-47,4	-51	-53	10	17,2

**Tabla 3.11: Relaciones de protección de RF relativas entre sistemas de radiodifusión en frecuencias inferiores a 30 MHz (dB)**

### 3.3.2.4 Línea de transmisión y antenas

Esta parte del sistema constituye el segundo lugar de importancia de la cadena DRM. Uno de los parámetros que se contemplan es el ancho de banda. Para antenas MF el ancho de banda es muy importante en el caso de que se utilicen señales DRM con una ocupación de canal doble (18 a 20 kHz), o en los casos donde se realicen transmisiones simulcast.

#### **3.3.2.4.1 Antenas HF**

Las actuales antenas HF para la radiodifusión en onda corta, están concebidas para tener anchos de banda superiores a los de las señales DRM, por lo que su uso no causa ninguna degradación y no se requiere modificación alguna.

#### **3.3.2.4.2 Antenas MF**

Las antenas MF generalmente se sintonizan a la frecuencia de servicio, a pesar de que en algunas instalaciones dos o más servicios pueden ser radiados de una antena común. La configuración particular a usarse se determina por la zona de cobertura y por la forma de propagación (onda superficial, onda ionosférica).

Una mayor explicación de las características que deben presentar este tipo de antenas, así como también las redes de acoplamiento usadas en las mismas se desarrolla en la sección 3.4.

#### **3.3.2.5 Difusión de datos**

La capacidad de difusión de datos dentro de un sistema de radiodifusión sonora digital da un valor agregado al sistema y lo hace atractivo al mercado, además dependiendo del uso que se le dé podría presentar múltiples servicios. El sistema DRM provee a sus usuarios esta capacidad, pero en su fase inicial contempla tan solo el envío de pequeños mensajes de texto, este servicio no consume mucha capacidad de datos, sino tan solo 80 bps. Los últimos 4 bytes de una trama lógica que contiene un servicio de audio, deberá transportar los datos referentes a la aplicación de mensajes de texto.

Como una futura mejora al servicio de datos, el sistema DRM propone la transferencia de aplicaciones a través del denominado modo paquete<sup>76</sup>, el cual permite el manejo de datos avanzados por medio de aplicaciones, las cuales

---

<sup>76</sup> Packet Mode: Especificado en ETSI ES 201 980 y ETSI TS 101 968.

están abiertas a cualquier organismo de desarrollo bajo previa aprobación de los miembros del consorcio DRM. Un ejemplo de este tipo de aplicaciones constituye el protocolo MOT (Multimedia Object Transfer), el cual permite una transmisión de objetos hasta 256 MB de capacidad.

### **3.3.2.6 Equipos de prueba**

Con el sistema totalmente conformado el mejor equipo de prueba que se debería utilizar es el visualizador de espectros, para monitorear y comprobar el cumplimiento de las máscaras espectrales establecidas para el sistema.

También sería necesario como ya se mencionó anteriormente un dispositivo analizador de red, el cual permita observar las características de impedancia del sistema de antenas para posteriormente realizar las correcciones debidas.

Otro de los equipos que se pueden necesitar para probar la calidad del sistema constituye un monitor de recepción especializado, el cual permite verificar la calidad de la señal por medio de la obtención de muestras de los símbolos de las señales que se reciben.

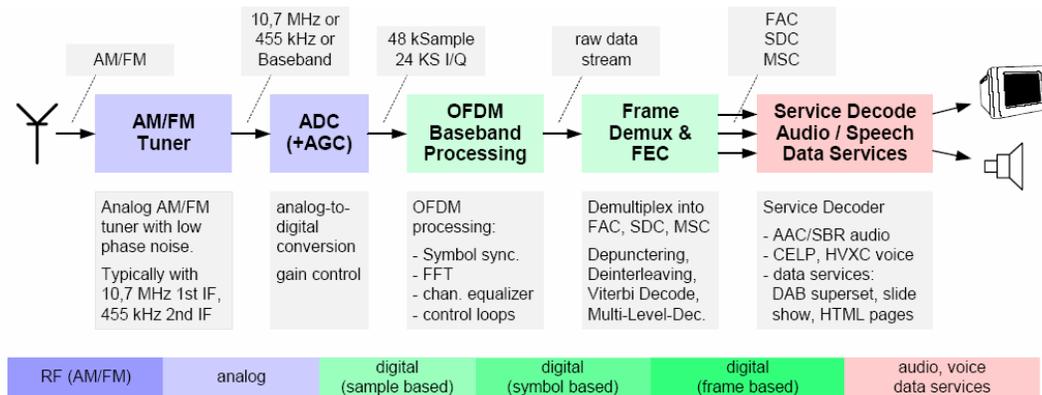
### **3.3.2.7 Receptor DRM**

El receptor recibirá el múltiplex en RF y deberá efectuar sobre él todos los procesos inversos a los realizados en el transmisor para obtener finalmente una señal de audio y de datos. En el estado actual de la técnica, la señal que se recibe en la antena ingresa a una unidad frontal de RF, donde sufre una serie de procesos de conversión en frecuencia hasta obtener finalmente una salida de RF centrada en la frecuencia intermedia<sup>77</sup>. Esta señal con su banda asociada, generalmente de un ancho de 10 kHz, se aplica a la entrada de sonido del receptor. Luego, mediante un programa (software) adecuado la señal se procesa obteniéndose como producto final, a la salida de la misma placa de sonido, el audio contenido originalmente en la modulación.

---

<sup>77</sup> El módulo de frecuencia intermedia realiza conversiones de frecuencia a 12 khz, o 455 khz.

Para formarnos una idea de los procesos que se deben realizar en el receptor, se presenta un diagrama de bloques en la figura 3.21 donde se mezclan los circuitos (hardware) y las acciones programadas o software.



**Figura 3.21: Esquema de un receptor DRM**

La señal analógica llega al receptor en frecuencia intermedia, donde se le aplica una conversión A/D para generar la constelación, se filtra y se sincroniza la señal para aplicarle la transformada rápida de Fourier (FFT).

Luego de la estimación del canal se demultiplexa la señal para separarla en sus tres canales originales: el SDC, el FAC y el principal MSC. La información de cada canal, una vez interpretada y decodificada, es bifurcada, por una parte los datos son administrados y decodificados por software y, por otra, el audio es derivado a un bloque de cabecera de audio y conducida al procesador de sonido.

En el caso del sistema DRM existen dos posibilidades de recepción, por un lado existen dispositivos receptores fabricados por los miembros del consorcio, y por otro lado existe software de libre distribución el cual puede ser utilizado por cualquier usuario que disponga de un computador personal, que tenga a disposición un módulo de frecuencia intermedia para de ésta manera adecuar la señal de entrada a la tarjeta de sonido del computador.

Esta flexibilidad de los módulos de recepción ha permitido que muchos usuarios alrededor del mundo experimenten con el sistema y observen sus capacidades,

además ha logrado que muchos programadores desarrollen software con código fuente abierto para la recepción del sistema, con lo que el consorcio DRM pretende globalizar su sistema en el mundo entero.

A continuación se presenta una lista de equipos receptores del sistema DRM, sus características y costos:

### ***WINRADIO G303***



Precio: \$319.95

Capacidad de recepción: Recepción AM/FM convencional

Recepción de bandas en el rango de 9 kHz y 30 MHz

Recepción de datos

Tipo de receptor: Receptor para montaje externo

Formato de audio: AAC, AAC+SBR, HVXC, CELP

Entradas/Salidas: Conexión puertos USB 2.0

Fuente de poder: 12v DC

Tipo: Portátil

### ***WINRADIO G305***



Precio: \$329.95

Capacidad de recepción: Recepción AM/FM convencional

Recepción de bandas en el rango de 9 kHz y 30 MHz

Recepción de datos

Tipo de receptor: Receptor para montaje externo  
 Formato de audio: AAC, AAC+SBR, HVXC, CELP  
 Entradas/Salidas: Conexión PCI  
 Fuente de poder: 12v DC  
 Tipo: Portátil

### ***SANGEAN***



Precio: \$299,95  
 Capacidad de recepción: Recepción AM/FM convencional  
 Recepción de bandas en el rango de 9 kHz y 30 MHz  
 Recepción de señales DAB (Banda III)  
 Recepción de datos  
 Tipo de receptor: Receptor personal  
 Formato de audio: AAC, AAC+SBR, HVXC, CELP, MP3  
 Entradas/Salidas: Conexión USB  
 Salida para audífonos  
 Fuente de poder: 12v DC  
 Tipo: Portátil

### ***MAYAH 2010***



Precio: \$195  
 Capacidad de recepción: Recepción AM digital (DRM)  
 Recepción de bandas en el rango de 9 kHz y 30 MHz

#### Recepción de datos

Tipo de receptor: Receptor personal  
 Formato de audio: AAC, AAC+SBR, HVXC, CELP  
 Entradas/Salidas: Conexión USB

#### Salida para audífonos

Fuente de poder: 110 V  
 Tipo: Portátil

Cabe notar que los equipos aquí presentados son en su mayoría dispositivos de montaje externo, debido a la distribución libre del software que hace posible la decodificación DRM, surge la alternativa de recibir la señal mediante un módulo de frecuencia intermedia de 12 kHz, adaptando la misma para procesarla posteriormente con una tarjeta de sonido, y mediante un software apropiado<sup>78</sup> decodificar el contenido de audio y datos del multiplex DRM.

### 3.3.2.8 Arquitectura del sistema DRM

Con el objeto de implementar el sistema DRM, para una fase de migración tenemos que pensar en los siguientes aspectos básicos de la red:

- Tratándose de un sistema de radiodifusión digital, conviene adquirir un sistema de procesamiento digital, para codificar las fuentes analógicas del sistema actual.
- La adquisición de un excitador DRM o servidor de contenido, el mismo organizará los datos digitales, los codificará en los distintos formatos de codificación fuente, y dependiendo del equipo organizará la información para conformar la señal OFDM.
- La adquisición de un transmisor apropiado para emitir la señal digital depende del estado actual del transmisor que se utiliza, las exigencias de linealidad que se demandan de éstos hace que no todos los transmisores

---

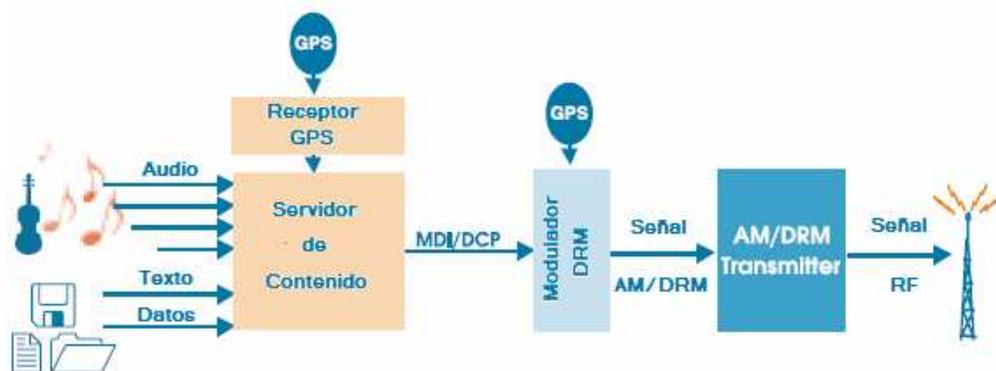
<sup>78</sup> Software tal como DREAM, DRM Radio Project, que permite hacerlo.

sean idóneos. Generalmente los transmisores modernos basados en tecnologías de estado sólido y principios de modulación basados en técnicas PDM-PSM, bajo pequeñas modificaciones son totalmente aptos para transmitir la señal DRM. Cabe señalar que el costo de migración del transmisor depende del año de fabricación del equipo, para equipos demasiado obsoletos este costo podría igualar al costo de los transmisores modernos, por lo que se recomienda la adquisición de un equipo nuevo.

- La adquisición de un nuevo sistema de antenas también esta condicionada, básicamente depende de cómo responde el sistema actual en un ancho de banda apropiado, también existen técnicas para mejorar el desempeño de las antenas en la cadena de transmisión, estos aspectos serán señalados más adelante.

A continuación se expondrán arquitecturas tentativas para implementar el sistema DRM basados en diagramas de bloques, posteriormente se analizará equipos de fabricantes existentes y se presentará los costos de inversión.

**Opción 1:** La siguiente arquitectura muestra un servidor de contenido capaz de administrar hasta cuatro programas de audio, este sistema está propuesto en el caso de que la implementación sea directamente en el sitio de transmisión, por lo que no consta de enlaces estudio-transmisor, y por tanto no hay procesamiento de las salidas digitales.



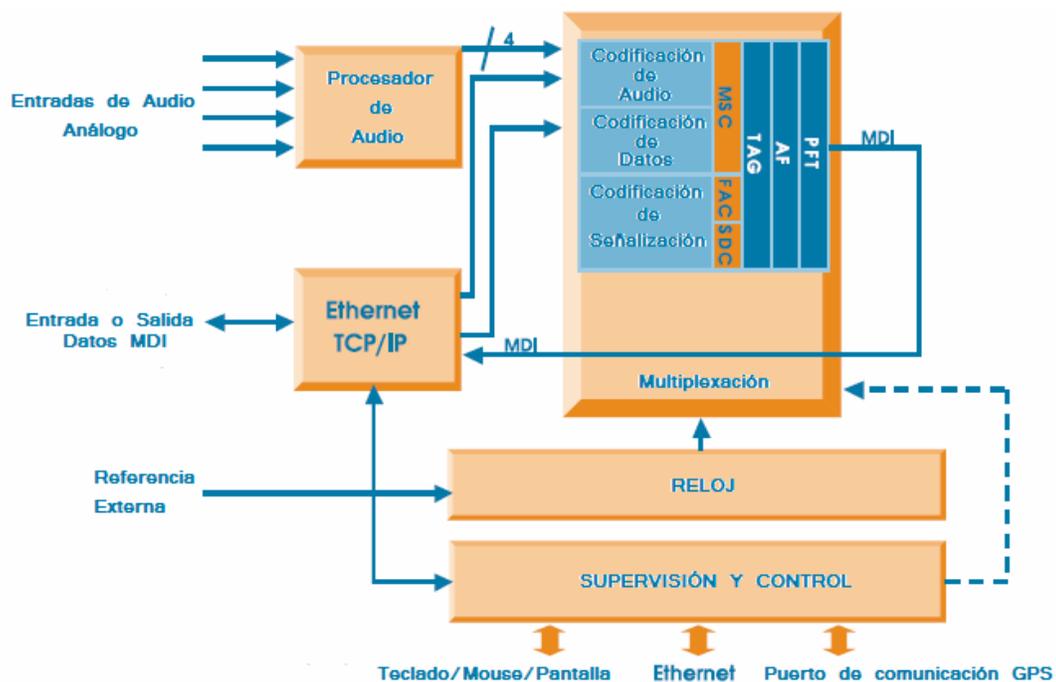
**Figura 3.22: Arquitectura del sistema DRM**

A continuación se detalla cada dispositivo de la arquitectura propuesta:

### *Servidor de contenido*

Este servidor recibe audio analógico y lo adapta mediante procesamiento digital al multiplexor DRM, puede manejar hasta cuatro servicios de audio, además puede añadir mensajes de texto en el mismo. También puede recibir datos y texto en formato digital MDI/DCP. La función del servidor por tanto es recibir audio, datos y texto para luego ajustar esta información en el canal de datos MSC y asignar la información de aplicaciones de datos y señalización en los canales FAC y SDC, para posteriormente transmitir la señal en formato DCP. El servidor tiene que estar sincronizado con las etapas posteriores de la cadena de transmisión, por lo que se requiere una referencia común de tiempo, en este caso un sistema GPS.

Además de las características mencionadas este dispositivo presenta una interfaz de configuración, a través de una pantalla y dispositivos como mouse y teclado, mediante el cual podemos administrar el sistema y configurarlo con todos los requerimientos que demanda el estándar DRM ETSI ES 201 980.



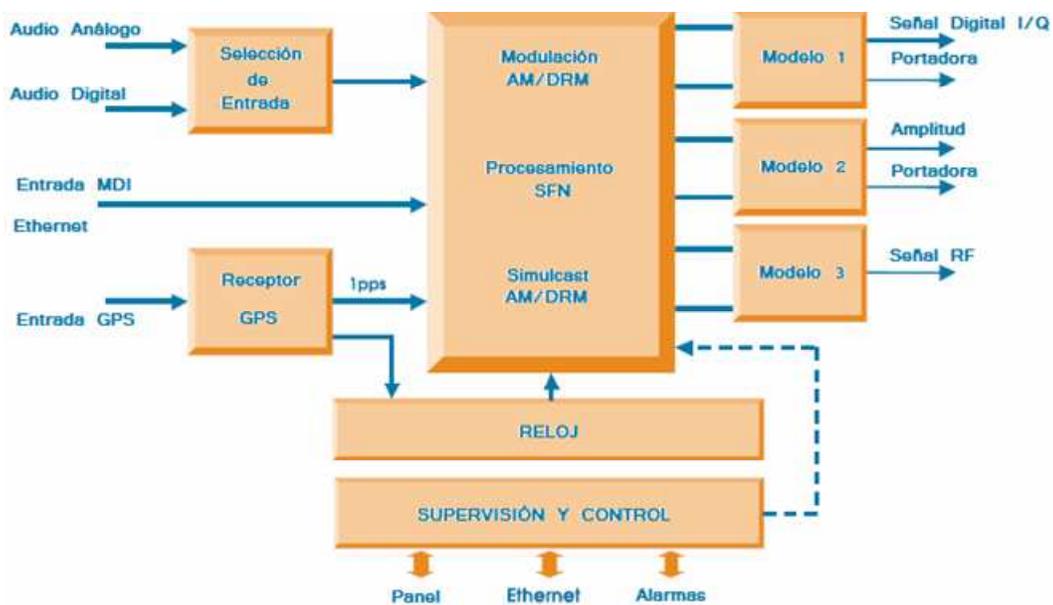
**Figura 3.23: Diagrama de bloques del servidor de contenido**

### *Modulador DRM*

El modulador DRM se encarga de conformar la señal OFDM para posteriormente transmitirla al aire. El sistema de antenas debe constar de entradas para audio analógico y digital, además debe constar de una conexión Ethernet para señales provenientes de algún servidor de contenido; para la sincronización debe constar de una entrada de recepción GPS. El modulador debe trabajar con modulación AM o DRM, ofrecer la capacidad de realizar redes de frecuencia única y además suministrar una operación en el modo simulcast, dependiendo de la necesidad del usuario. Además debe disponer de un modo de comunicación con el operador, ya sea local o remoto, y un adecuado sistemas de alarmas.

Las salidas del modulador dependen del modelo que estemos usando así como del fabricante, las características de las señales de entrada de los transmisores que se van a utilizar definirán la elección de cualquier modelo, las salidas que deberían disponerse son: la salida de la señal digital I/Q, la señal separada en componentes de amplitud y fase y la señal AM/DRM en modo simulcast.

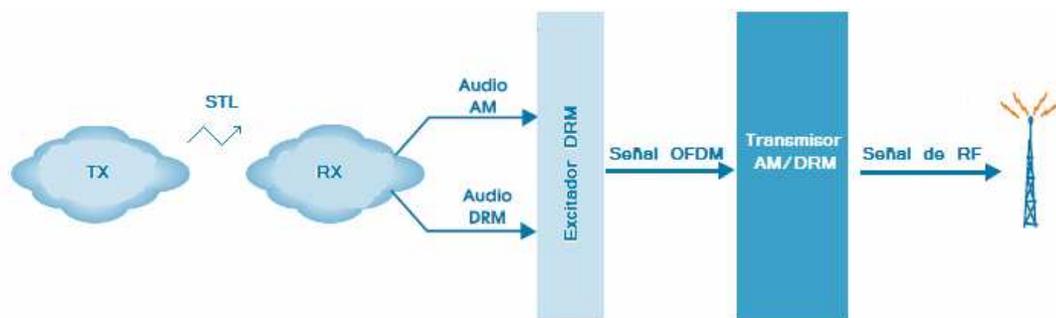
Las características antes señaladas se ven sintetizadas en la figura 3.24:



**Figura 3.24: Esquema de un modulador DRM AM**

La arquitectura antes presentada es el modo más básico de implementación DRM, consta de elementos que necesariamente se deberían adquirir para iniciar emisiones pilotos, no se incluyen en la arquitectura procesadores de audio ya que los dispositivos mostrados incorporan plaquetas de procesamiento de audio.

**Opción 2:** Con el fin de utilizar la mayor cantidad de componentes de la cadena actual y también disminuir los costos de inversión en la adquisición de equipos, a continuación se presenta una arquitectura que consta de un solo equipo que recoge las entradas de audio y las convierte en el formato de la especificación DRM, para posteriormente transmitir una señal OFDM.



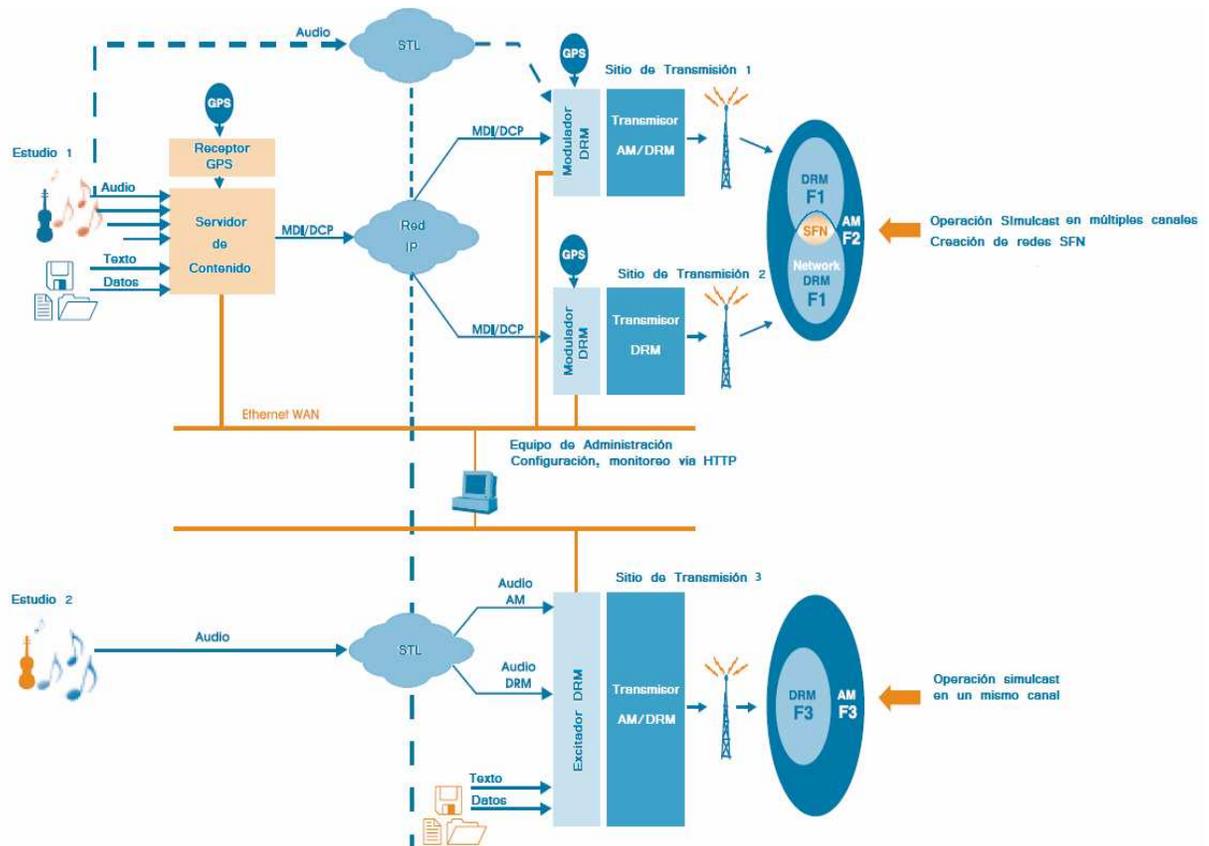
**Figura 3.25: Arquitectura simplificada del sistema DRM**

Como podemos ver ésta es una arquitectura más simplificada que la anterior y se ajusta más a las características de las estaciones de difusión AM en el país, consta inicialmente de un enlace estudio transmisor, dependiendo de las características de éste enlace las salidas entregadas al excitador podrán ser analógicas o digitales, es aquí donde también podría ser necesario la incursión de equipos de procesamiento de las señales transportadas según los requerimientos del excitador.

El excitador DRM como se puede apreciar es un dispositivo que cumple dos funciones, por un lado administra las fuentes de audio, y las adapta a la especificación DRM, y por otro lado permite la conformación de la onda OFDM para su amplificación en el transmisor.

**Opción 3:** Esta opción corresponde a una arquitectura avanzada del sistema DRM, donde a más de realizar transporte de audio se realiza el transporte de

aplicaciones de datos a través de una red de múltiples sitios de transmisión mediante varios estudios.



**Figura 3.26: Arquitectura DRM avanzada**

Como vemos esta arquitectura pretende conectar múltiples estudios con múltiples sitios de transmisión, los enlaces STL transportan audio en formato analógico mientras que el transporte digital se lo hace a través de redes IP manejando datos en formato MDI/DCP, la implementación de un sistema similar al propuesto requiere de una alta modernización de la red, por lo que ésta propuesta es una alternativa futura del sistema DRM

### 3.3.2.9 Costos de conversión

La amplia gama de arquitecturas que se pueden implementar en el sistema DRM, así como también la situación actual de la radiodifusora, son factores críticos para determinar el costo inicial de las primeras emisiones digitales, sin embargo en la

siguiente sección se ha tomado en cuenta los equipos básicos necesarios para iniciar transmisiones DRM, los siguientes datos apoyados con las arquitecturas mostradas en la sección anterior nos aportan un criterio bastante realista de los costos que implicarían migrar hacia una tecnología digital.

Los costos están basados en datos proporcionados por dos fabricantes de productos DRM, Harris (Canadá) y Digidia (Francia).

### **Digidia**

Servidor de Contenido ALTO-DRM Básico	\$35600
Servidor de Contenido ALTO-DRM Avanzado <sup>79</sup>	\$48800
Modulador SOPRANO-DRM Básico	\$30300
Modulador SOPRANO-DRM Avanzado	\$36900
Excitador TENOR-DRM Básico	\$64600
Excitador TENOR-DRM Avanzado	\$77800
DIAPASON-DRM sincronización GPS	\$4220

### **Harris**

Excitador DRM (servidor de contenido, modulador)	\$42000
Transmisor (DX, 3DX, DAX) <sup>80</sup>	hasta \$130000

### **Procesadores de Audio**

Orban 6200 Procesador de audio analógico	\$6250
Orban 9200D Procesador de audio digital	\$4750
Orban AM 9400 (procesador analógico y digital)	\$7990
Omnia 3 Procesador analógico	\$4310
Omnia 3 Procesador digital	\$4310

<sup>79</sup> Las configuraciones avanzadas de los equipos hacen referencia a que los mismos tienen funciones orientadas a aplicaciones de datos.

<sup>80</sup> El costo del transmisor varía en función de la potencia.

### Otros costos (referidos a Digidia y Harris)

UPS	\$350
Equipo de estudio digital	\$1000 - \$30000
Otros equipos / costos	\$12000 - \$30000

Como vemos los precios van a variar dependiendo de la configuración que se esté utilizando, cabe destacar que la adquisición de un servidor de contenido y un modulador, o un excitador DRM serán necesarios para las primeras emisiones, en tanto que la adquisición de un transmisor, dependerá del estado del actual.

Considerando que no se tengan muchos problemas adaptando al transmisor, al enlace estudio-transmisor y al sistema de antenas, la transición hacia cualquier sistema digital, se limita al adquirir un servidor de contenido y un modulador, o la adquisición de un excitador, haciendo de esta manera que las radiodifusoras se interesen mucho en el cambio.

### **3.4 ASPECTOS CRÍTICOS DE LA MIGRACIÓN ANALÓGICA A DIGITAL DE UNA ESTACIÓN DE RADIODIFUSIÓN SONORA**

En una estación de radiodifusión sonora los aspectos críticos a considerarse parten desde el transmisor analógico existente hasta el sistema de antenas, es decir, elementos tales como el amplificador de potencia, filtros, redes de acoplamiento, redes de cambios de fase, requieren de ciertas consideraciones técnicas para así cumplir con los requerimientos de la radiodifusión digital.

Además estos aspectos incidirán en la inversión inicial del proceso de migración, ya que ciertos equipos existentes pueden ser utilizados en la fase inicial de la migración digital con ciertas adecuaciones, las cuales dependerán del fabricante y del año de fabricación de los equipos de radiodifusión.

Por ser los estándares IBOC y DRM sistemas de radiodifusión sonora digital, basados en la técnica de modulación por multiplexoras OFDM, los mismos

presentan gran similitud en la cadena de transmisión, es decir, los requerimientos en cuanto a amplificadores de potencia, sistemas de antenas, y enlaces STL son similares. Por tal motivo se presenta a continuación una breve descripción de los parámetros citados anteriormente aplicables a ambos sistemas.

### **3.4.1 LINEALIZACIÓN DEL AMPLIFICADOR DE POTENCIA**

Como se describió en el capítulo anterior la señal a ser transmitida proviene de un modulador OFDM, lo que significa que para efectos de transmisión toma la forma de un grupo de portadoras igualmente espaciadas, en donde la información digital se modula en las mismas en términos de amplitud y fase.

Esto da lugar a la formación de una señal digital I/Q compleja, con una componente en fase "I" y una componente en cuadratura "Q". A fin de operar con un transmisor no lineal esta señal se convierte en una componente en Amplitud ( $r$ ) y en Fase ( $\varphi$ ). En transmisión, es primordial que éstas componentes mantengan sus relaciones de fase y amplitud, a pesar de que se eleve el nivel de la señal a los niveles requeridos para su difusión, en otras palabras la señal OFDM no debe ser distorsionada en el proceso de amplificación de potencia, ya que esto podría elevar la tasa de bits errados BER a niveles inaceptables.

Para evitar ésta distorsión se requiere que el amplificador de potencia tenga una función de transferencia lineal, de tal manera que la señal de salida proveniente de éste sea una réplica exacta de la señal de entrada pero a un nivel de potencia mucho más alto. La no linealidad del amplificador de potencia produce distorsión dentro y fuera de la banda de frecuencias de la señal original, además en el caso de las señales OFDM o multiportadora produce productos de intermodulación.

Las señales resultantes ( $r$ ) y ( $\varphi$ ), teóricamente tienen un ancho de banda infinito. Sin embargo, en la práctica el ancho de banda requerido será determinado por el filtro de Nyquist, lo que resulta en un ancho de banda de 3 a 4 veces el ancho de banda de las señales (I) y (Q) debido a la forma espectral. Este requisito no es un problema para el canal ( $\varphi$ ) de un moderno transmisor de estado sólido, ya que el

transmisor es capaz de operar de 3 a 4 veces la señal de fase modulada. Sin embargo, el ancho de banda en la mayoría de transmisores de estado sólido del canal ( $r$ ) está limitado debido a los métodos de modulación usados.

Una operación lineal del amplificador puede ser obtenida por:

1. Cambiando la polarización del amplificador desde un modo no lineal (clase C o equivalente) a un modo lineal (clase A, B o AB).
2. Reduciendo la potencia para permitir que los picos sean amplificados sin saturación (no recortado).
3. Otras técnicas de linealización, a fin de cumplir con la máscara RF.

La señal digital generalmente requiere una amplificación lineal para eliminar los componentes de intermodulación que causan una degradación espectral. Desafortunadamente, en el mundo real, el alto costo y la poca eficiencia de los amplificadores lineales los hace poco prácticos. Los costos de operación en un amplificador lineal son mucho mayores que en un amplificador no lineal, ya que para suministrar una misma potencia de salida, los amplificadores lineales necesitan una potencia de entrada más alta debido a su baja eficiencia.

La solución óptima son los amplificadores “no lineales” de alta eficiencia los cuales son capaces de transmitir una señal completamente digital. A fin de operar con un amplificador de alta eficiencia es necesario utilizar la técnica EER (Eliminación y Restauración de Envolvente), la cual requiere que la señal sea dividida en ( $r$ ) y ( $\varphi$ ).

Estas no linealidades causan un incremento de las componentes espectrales indeseadas. En un amplificador ideal las señales ( $r$ ) y ( $\varphi$ ) se combinarán perfectamente en la etapa de salida de potencia de un transmisor AM, resultando en un espectro ideal con solo la señal deseada. Esta cancelación tiene que ser compensada lo suficiente para cumplir con la máscara espectral, definiendo la radiación fuera de banda permitida del transmisor.

Los efectos citados anteriormente se los visualiza en las siguientes figuras:

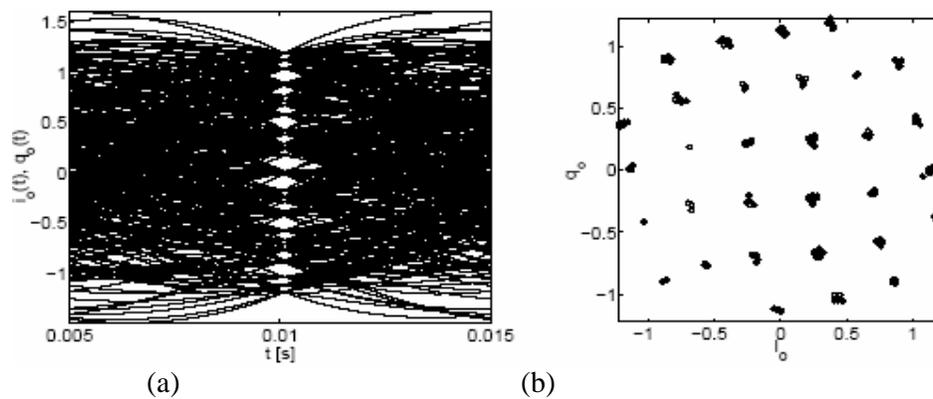


Figura 3.27: Aspecto de una señal 32-QAM después de la amplificación no lineal; (a) Diagrama de ojo; (b) Constelación

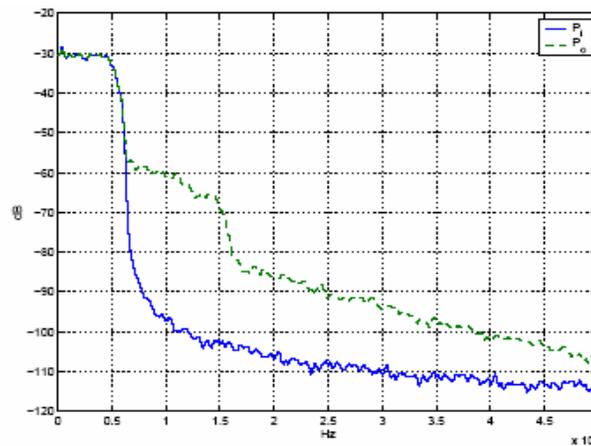


Figura 3.28: Distorsión fuera de banda: ensanchamiento del espectro de una señal 16 QAM

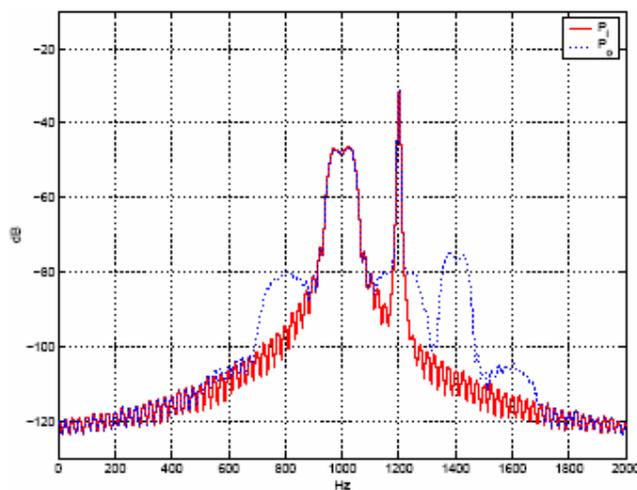


Figura 3.29: Intermodulación sobre una señal constituida por una señal 64 QAM más un tono separado de esta el doble de la frecuencia de símbolos

Para esquemas de codificación multinivel como M-QAM<sup>81</sup>, se tiene que a mayor complejidad en la constelación, mayor es la alinealidad presentada en el amplificador. Estos esquemas de codificación son altamente sensibles a la distorsión no lineal de amplitud y fase introducidas por el amplificador de potencia.

Las características no lineales de estos amplificadores se representan a través de las funciones AM/AM y AM/PM. La función AM/AM representa las características no lineales entre la amplitud de salida y la amplitud de entrada (distorsión de amplitud). La función AM/PM representa las características no lineales entre el corrimiento de fase y la amplitud de salida, es decir, la distorsión que la amplitud de la señal introduce sobre su fase (distorsión de fase).

Los resultados de estas dos distorsiones no lineales producen en el receptor una significativa degradación sobre el BER, y el espectro de la señal transmitida será expandido a los canales adyacentes, causando el fenómeno conocido como interferencia de canales adyacentes. Una solución para reducir los efectos de la distorsión no lineal es operar el amplificador de potencia con una potencia backoff<sup>82</sup> relativamente alta, es decir, lejana desde el punto de saturación, esta solución no es eficiente porque el amplificador entrega una baja potencia de salida. El backoff es la distancia, medida en dB, entre el punto de trabajo del amplificador y su punto de saturación a 1 dB y está condicionada por la razón pico a promedio de la señal. Si se aumenta el backoff se comprometería la eficiencia de potencia, la cual podría reducirse a niveles ínfimos.

Los métodos de linealización pueden ser divididos en dos grandes grupos:

**i) Aquellos en los que se reduce la distorsión.** Pertenecen aquellos sistemas en los que mediante un mecanismo adecuado (la linealización) se elimina o compensa la distorsión introducida por el amplificador. Esta compensación puede ser efectuada tomando una muestra de los productos de intermodulación generados por el amplificador de potencia, e inyectándolos apropiadamente

---

<sup>81</sup> En los sistemas IBOC y DRM se utilizan esquemas de modulación 4-QAM, 16-QAM y 64-QAM.

<sup>82</sup> Opera dentro de una región reducida del rango dinámico del amplificador, es decir, el rango de potencia donde el amplificador suministra una operación lineal útil, a fin de evitar zonas de distorsión y saturación.

desfasados en la salida (*feedforward*), o tomando una muestra de la señal de salida e inyectándola a la entrada (*feedback*), o bien mediante una alteración apropiada de la forma de la envolvente de la señal de entrada (predistorsión).

**ii) Aquellos en los que se evita la distorsión.** El segundo grupo lo constituyen aquellos métodos en los que la señal original con envolvente variable en el tiempo es transformada (reversiblemente) en dos señales con envolvente constante. Las señales que resultan se amplifican por separado y sin distorsión, y posteriormente son recombinadas produciendo una replica amplificada de la señal original (LINC o CALLUM). Otra alternativa consiste en separar la señal con envolvente variable en sus componentes polares de amplitud y fase. La fase se incorpora en una señal con envolvente constante la cual es amplificada sin distorsión en el amplificador de potencia, y la amplitud se utiliza para modular la tensión de alimentación del amplificador (*Envelope Elimination and Restoration -EER*). Los esquemas de modulación que “estimulan” muy poco la característica no lineal de los amplificadores de potencia pueden verse, también, como esquemas de linealización en sí mismos.

Las técnicas *Cartesian feedback*, *feedforward*, y predistorsión resultan naturales para amplificadores de potencia en clase A, AB y B utilizados extensivamente para amplificar señales con esquemas de modulación multinivel. Por otro lado, las técnicas EER, LINC, y CALLUM permiten la amplificación de cualquier formato de modulación con amplificadores operados en clases más eficientes, como la clase C, e inclusive en las clases que se derivan de una operación conmutada del amplificador de potencia (clases D, E, y F, por ejemplo).

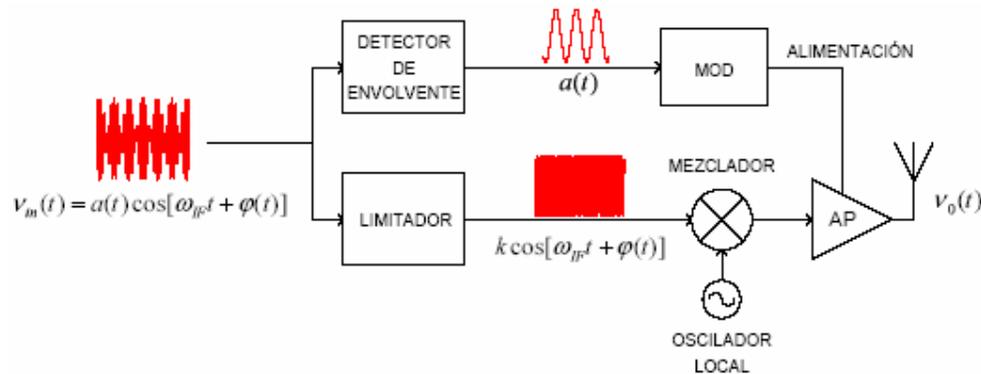
Por razones de eficiencia en cuanto a potencia y por su uso en esquemas de modulación multinivel, se recomienda utilizar el método por Eliminación y Restauración de Envolvente (EER).<sup>83</sup> Otra técnica de linealización ampliamente utilizada es la de predistorsión, la cual entrega una buena linealidad. Estas técnicas se describen a continuación.

---

<sup>83</sup> Este método de linealización es propuesto en el documento “Broadcast Manual” del consorcio DRM.

### 3.4.1.1 Eliminación y Restauración de Envolvente (EER)

El esquema básico de un linealizador mediante la eliminación y restauración de la envolvente se muestra en la figura 3.30.



**Figura 3.30: Diagrama de bloques de un linealizador basado en la Eliminación y Restauración de la Envolvente (EER)**

Este método opera al amplificador de potencia en la región de alta eficiencia en todos los niveles de la señal de entrada. A una frecuencia intermedia la señal de entrada  $V_{in}(t) = a(t) \cos[\omega_{IF}t + \varphi(t)]$ , se divide en sus componentes polares: la envolvente  $a(t)$ , la cual evoluciona a una frecuencia relativamente baja (banda base), y la fase  $\varphi(t)$ , contenida en una señal  $k \cos[\omega_{IF}t + \varphi(t)]$  con envolvente constante a la frecuencia intermedia original. La amplitud de la señal de entrada es preservada con la ayuda de un detector de envolvente, y la envolvente extraída se utiliza para modular la tensión de alimentación del amplificador de potencia. Al mismo tiempo la señal de entrada es conducida a través de un limitador, el cual despoja la amplitud de la señal pero retiene su fase. En una implementación moderna, la envolvente y la fase son generadas por un DSP.

Luego la señal a envolvente constante se traslada a radiofrecuencia mediante un mezclador y posteriormente se amplifica sin distorsión en el amplificador de potencia, generalmente configurado de forma eficiente, en clase C por ejemplo. La envolvente variable es restituida a la señal amplificada mediante la modulación de la tensión de alimentación del amplificador de potencia. Las señales de fase y amplitud tienen que llegar al mismo tiempo, de esa manera la fase es típicamente

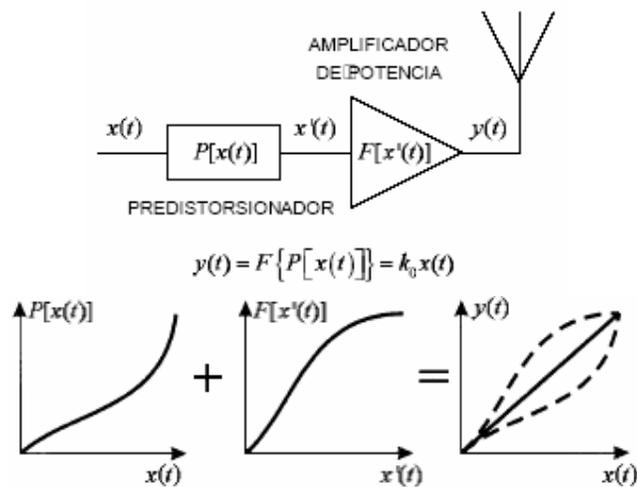
retardada para igualarse con la amplitud. Es importante observar que un control externo de la polarización DC en los amplificadores implica (idealmente proporcional) cambios en el suministro de voltaje y corriente, lo que permite un control lineal de la ganancia del amplificador únicamente dentro de un rango limitado. El amplificador de potencia es un amplificador/modulador, cuyas entradas son la señal de audio (la envolvente amplificada) y la de radiofrecuencia, y su salida es una replica amplificada de la señal  $V_{in}(t)$ .

Los transmisores basados en la técnica EER generalmente tienen una excelente linealidad, ya que ésta depende del modulador antes que en los transistores de potencia. El propósito del modulador es suministrar una amplificación lineal a la envolvente. Los dos factores más importantes que afectan la linealidad son el ancho de banda de la envolvente y la alineación de la envolvente y fase. El ancho de banda de la envolvente debe ser por lo menos dos veces el ancho de banda de la señal RF y la desalineación no debe exceder la décima parte del inverso del ancho de banda RF. En la práctica, el modulador trabaja bien, excepto a bajos niveles de potencia. A frecuencias más altas, los dispositivos de potencia RF muestran características de saturación y grandes cantidades de distorsión AM/PM, necesitando el uso de predistorsión para una buena linealidad.

#### **3.4.1.2 Predistorsión**

Al conocer el comportamiento del amplificador de potencia mediante las funciones AM/AM y AM/PM se puede aplicar la técnica de linealización por predistorsión. Esta técnica se emplea extensivamente en la linealización de amplificadores con tubos al vacío y de estado sólido. En esta técnica la señal de entrada del amplificador se modifica mediante cierta ley de predistorsión, haciendo preceder al amplificador de potencia un dispositivo no lineal cuya relación entrada-salida es la inversa de la relación entrada-salida del amplificador.

El esquema de la figura 3.31 representa específicamente la denominada predistorsión en lazo abierto, que es la más básica de las arquitecturas de predistorsión existentes.



**Figura 3.31: Arquitectura básica de predistorsión**

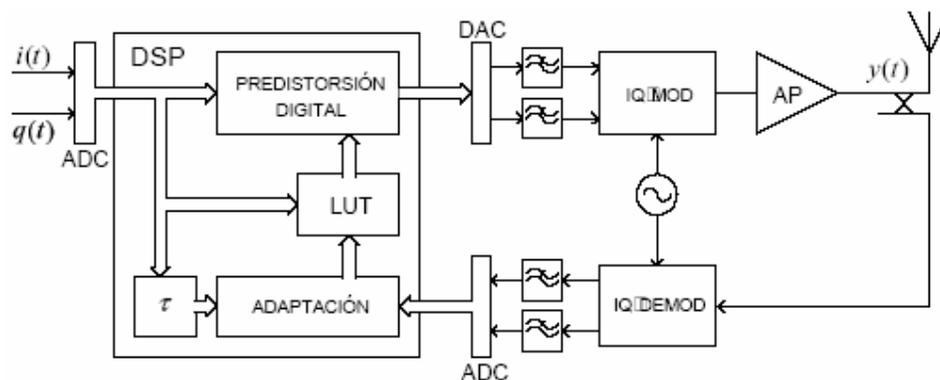
Según la etapa de frecuencia en que la función de predistorsión es implementada, tenemos predistorsión en RF, predistorsión en IF y predistorsión banda base, e inclusive predistorsión de datos. La predistorsión en RF se suele implementar en modo analógico, mientras que la predistorsión en IF y banda base pueden ser implementadas tanto analógicamente como digitalmente. Por esta razón se suele agrupar también, dichas técnicas de predistorsión en analógicas y digitales.

La predistorsión analógica a lazo abierto presenta la arquitectura básica mostrada en la figura 3.31. Esta técnica conecta un amplificador de predistorsión enfrente del amplificador principal. Comparado al amplificador principal compresivo, este amplificador adicional tiene una característica de distorsión expansiva. Estas dos distorsiones se cancelan mutuamente cuando se suman, lo que resulta en una salida lineal y sin distorsión desde el amplificador RF principal.

Los esquemas más modernos de predistorsión tienden a ser adaptativos, utilizando un DSP para ajustar los coeficientes del predistorsionador. En lugar de utilizar un predistorsionador con una función de transferencia fija, la función de transferencia puede ser modificada. Típicamente se emplea una muestra de la potencia fuera de banda de la señal de salida del amplificador, o una señal de error, construida a partir de la propia señal de entrada y de la señal de salida, para dirigir el procedimiento de adaptación.

Particular interés reviste hoy en día la predistorsión digital, donde la función de predistorsión es sintetizada en un DSP mediante matrices, utilizando LUTs (look-up tables). En esta arquitectura se añade un mecanismo de adaptación que actualiza los elementos almacenados en la tabla durante un intervalo de tiempo, después del cual el sistema es capaz de linealizar la respuesta del amplificador. El sistema puede asimilar las variaciones que puedan sufrir los parámetros del amplificador con el tiempo (por envejecimiento de los componentes, cambios de temperatura, conmutación de frecuencia, variaciones de la alimentación) siempre y cuando estas sean relativamente lentas comparado con el tiempo de convergencia del sistema adaptativo.

Un sistema de predistorsión digital (adaptativo) tiene la forma básica que se muestra en la figura 3.32. El bucle de retroalimentación provee al DSP una muestra demodulada de la señal de salida del amplificador. Esta muestra y la señal de entrada se convierten al dominio discreto mediante convertidores A/D. Las señales discretas que se obtienen se utilizan para construir una señal de error a partir de la cual se actualiza la tabla que contiene la función de predistorsión. La señal de entrada se utiliza para leer esta tabla, y como salida, la tabla proporciona un valor de predistorsión que es aplicado a la señal de entrada misma. El valor predistorsionado se convierte al dominio analógico mediante un convertidor D/A. La señal que se obtiene es suavizada mediante filtrado y se utiliza para modular la portadora. Según como se conciban las LUTs se definen diversas versiones de predistorsión digital



**Figura 3.32: Arquitectura básica de un sistema de predistorsión digital**

La eficacia de un predistorsionador digital está condicionada por las imperfecciones que añaden los elementos que conforman su arquitectura. La dimensión de la tabla utilizada para albergar los coeficientes de predistorsión, la longitud de la palabra utilizada para representar las señales discretizadas (error de cuantización), la velocidad de muestreo de los A/Ds y D/A, la cantidad y el tipo de operaciones involucradas en la operación de predistorsión, las imperfecciones en los filtros reconstructores y moduladores IQ, son los principales factores que limitan el rendimiento de este linealizador.

Por otro lado, se debe sumar tanto los costos asociados al hardware digital y a los conversores A/Ds y D/A, que se incrementan en la medida que se requiera de un mejor rendimiento del linealizador, así como el consumo de potencia del predistorsionador, el cual puede llegar a ser comparable con el del propio amplificador de potencia.

### **3.4.2 ANTENAS PARA RADIODIFUSIÓN DIGITAL**

#### **3.4.2.1 Introducción**

Esta parte del sistema de transmisión constituye el bloque final de la cadena de emisión de la señal, donde el radiodifusor tiene control. Como los sistemas de radiodifusión digital analizados abarcan en su totalidad las bandas por debajo de los 30 MHz<sup>84</sup>, a continuación se señalan las implicaciones en cuanto al uso de antenas en las bandas MF y HF.

Uno de los parámetros que se consideran contempla el ancho de banda, para antenas MF el ancho de banda es muy importante en el caso de que se realicen transmisiones del tipo simulcast. Una consecuencia directa de un ancho de banda limitado es la atenuación de las componentes de amplitud y la distorsión de las componentes de fase de la señal OFDM, así como también el incremento de los niveles de emisión fuera de banda.

---

<sup>84</sup> En el sistema DRM se hace uso de las bandas MF (AM) y HF (onda corta), el sistema IBOC tan solo MF (AM), cabe destacar que la banda LF no tiene ninguna aplicación en nuestro país.

### 3.4.2.2 Antenas para la banda HF (Onda corta)

Tal como se plantean los actuales diseños de antenas HF para transmisión, se observa que las mismas están concebidas para tener anchos de banda muy superior a los de las señales digitales, por lo que su uso no causa ninguna degradación, por ende no se requiere de ninguna modificación<sup>85</sup>.

### 3.4.2.3 Antenas para la banda MF (Onda media, AM convencional)

Como se dijo anteriormente el parámetro crítico para evaluar una antena con el fin de ajustarse a los requerimientos de los sistemas de radiodifusión digital por debajo de los 30 MHz, es el ancho de banda, que para efectos prácticos está relacionado estrechamente con la relación de onda estacionaria.

El ancho de banda de una antena se considera como el rango de frecuencias dentro del cual la antena presenta un desempeño satisfactorio, es decir, una o más características de la antena (esto es ganancia, patrón de radiación e impedancia), tienen valores aceptables entre los límites de este rango.

Para la mayoría de antenas, parámetros como la ganancia y el patrón de radiación no tienen variaciones abruptas conforme avance la frecuencia, en cambio la impedancia si, razón por la cual los acoplamientos entre las antenas y las líneas se vuelven un problema en el caso de que el comportamiento de impedancia no presente estabilidad en el ancho de banda requerido, por lo que se toma la relación de onda estacionaria como un parámetro para estimar el comportamiento de la antena entre una frecuencia máxima y una mínima.

La relación de onda estacionaria (SWR<sup>86</sup>), también conocida como relación de onda estacionaria de voltajes VSWR, no es estrictamente una característica que

---

<sup>85</sup> ITU-D Comisión de estudio 2, Informe sobre la Cuestión 11-1/2, “Examen de las tecnologías y sistemas de radiodifusión digital, incluidos los análisis de rentabilidad, el interfuncionamiento de los sistemas terrenales digitales con las redes analógicas existentes y métodos para la migración de las técnicas terrenales analógicas a las técnicas digitales”, (2002-2006). Este documento señala que para las bandas HF y MF la modificación en un sistema de antenas no es drástica.

<sup>86</sup> Proviene del inglés Standing Wave Ratio. También se conoce como ROE por sus siglas en español.

presentan las antenas, pero es comúnmente usada para describir el funcionamiento de una antena cuando se conecta a una línea de transmisión, es decir, es una medida de que tan bien la impedancia de la antena se acopla a la impedancia característica de la línea de transmisión.

Si la impedancia que ofrece la antena no presenta componente reactivo tan solo componente resistiva, y a su vez esta componente resistiva es igual a la impedancia característica de la línea, entonces se dice que tanto la antena como la línea de transmisión están acopladas. Por consiguiente cualquier señal enviada a la antena no presentará onda de reflexión y el VSWR será idealmente 1, de no darse esta condición los dispositivos estarán desacoplados y se presenta una onda estacionaria caracterizada por los máximos y mínimos de voltaje en la línea, dando como resultado un VSWR mayor que 1.

Los valores de VSWR comprendidos entre 1.1 y 1.5 se consideran excelentes, valores entre 1.5 y 2 se consideran buenos, valores superiores a 2 en determinadas aplicaciones se consideran inaceptables.

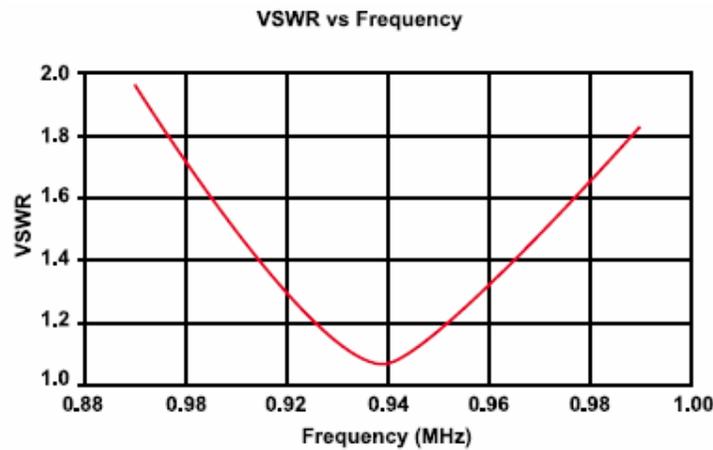
Teóricamente se requiere que entre la antena y la línea de transmisión exista acoplamiento para optimizar la radiación de potencia, esto puede ser alcanzado para una frecuencia individual, en la práctica una antena se usa sobre un ancho de banda y su impedancia variará sobre este rango, por esta razón es necesario que las especificaciones de antenas contengan un diagrama de la variación del VSWR en función de la frecuencia. Para los sistemas de radiodifusión sonora digital abordados en este proyecto de titulación los valores de VSWR requeridos son los siguientes:

Sistema	VSWR	Rango de frecuencias	Ancho de banda
IBOC	1.2	± 10 kHz	20 kHz
	1.4	± 15 kHz	30 kHz
DRM	≤1.2	± 10 kHz	20 kHz
	≤1.4	± 15 kHz	30 kHz
	≤1.035	± 5 kHz	10 kHz

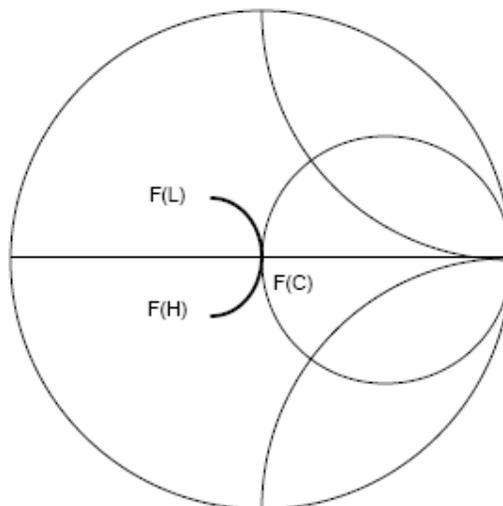
**Tabla 3.12: Valores de VSWR para antenas de onda media para DRM e IBOC<sup>87</sup>**

<sup>87</sup> Valores tomados de IBiquity y el consorcio DRM.

Según los datos presentados en la tabla 3.12, se puede notar que la variación del VSWR debe ser simétrica alrededor de la frecuencia de operación, es decir, si la componente reactiva de la impedancia varía a la derecha de la portadora una cantidad  $+j6$ , la variación hacia la izquierda de la misma presentará una componente de signo opuesto  $-j6$ . Este hecho puede ser evidenciado en los siguientes gráficos:



**Figura 3.33: Variación simétrica del VSWR de una antena en función de las frecuencias alrededor de la portadora**



**Figura 3.34: Comportamiento simétrico de la impedancia de una antena en un ancho de banda dado**

Los monopolos con alimentación paralela y monopolos doblados en configuraciones resonantes se ajustan a los requerimientos de VSWR para los sistemas de radiodifusión DRM e IBOC, y no requieren una modificación drástica para un desempeño óptimo.

Para algunos tipos de antenas las características de impedancia deseadas se pueden obtener fácilmente mediante una variación de su geometría, para otros casos no es tan fácil, de ahí que haya la necesidad de implementar redes de rotación de fase para corregir la asimetría de las impedancias y redes de acoplamiento para obtener una impedancia terminal en la antena que facilite el acoplamiento con la impedancia característica de la línea de transmisión.

Las redes de rotación de fase más utilizadas son redes tipo L y tipo T<sup>88</sup>, las redes tipo L se utilizan para acoplar impedancias en el caso de que el cambio de fase no tenga mucha importancia, las redes tipo T se utilizan para el caso en el que se requiera tanto acoplamiento de impedancia como rotación de fase.

Para evaluar el comportamiento de un sistema de antenas existente, se debe probar la impedancia de la antena en el ancho de banda deseado dependiendo del funcionamiento del sistema de radiodifusión<sup>89</sup>, luego de esto se registran los datos para mayor facilidad utilizando la Carta de Smith, con esto se determina si las características de VSWR cumplen con los requisitos antes citados, finalmente se determina el grado de rotación en las redes T o L para adecuar el comportamiento de la antena al sistema.

### 3.4.3 STL

Después de las mejoras en el transmisor y de solucionar cualquier problema en el sistema de antenas, el STL es la segunda parte más crítica del proceso de migración hacia un sistema de radiodifusión digital. Es crucial mantener una alta

---

<sup>88</sup> Las redes del tipo Pi son raramente utilizadas en sistemas de transmisión AM.

<sup>89</sup> Para DRM el ancho de banda en el modo digital sería 10 kHz, en modo simulcast sería 20 kHz. Para IBOC el ancho de banda en el modo digital sería 20 kHz, en el modo simulcast sería 30 kHz.

linealidad a través del ancho de banda. No se requiere un STL digital, pero su uso puede mejorar la calidad del audio.

Las estaciones que no puedan abandonar sus complejos sistemas STL, tendrán que insertar un sistema de conversión D/A y A/D para cumplir con los requerimientos de entrada al excitador digital. Siempre que exista un método de conversión en el transmisor, el audio puede llegar por medio del STL en cualquier formato: analógico o digital. Por ejemplo, si el sistema STL es analógico y se lo conecta a un procesador de audio digital en el transmisor, el procesador suministrará la conversión A/D. También se debería considerar el ancho de banda del actual sistema STL, ya que la programación a transportarse estaría en formato digital y los requerimientos del ancho de banda son más exigentes que para el caso analógico, y por tanto se debe considerar si el actual sistema STL sería capaz de manejar un ancho de banda superior. En caso de operar con señales AES, algunas estaciones han resuelto el conflicto de trabajar con STLs analógicos, decodificando la información en dos entradas monofónicas para un conversor AES.

Como se indicó anteriormente, las múltiples alteraciones del audio van a ser perjudiciales, y la configuración mencionada anteriormente no es recomendada y debería ser considerada temporalmente.

Los fabricantes están incrementando el desarrollo de nuevos STLs digitales, así como también están ofreciendo equipos para actualizar los sistemas existentes. Si se está reemplazando o realizando una instalación por primera vez de un STL, se necesitará tomar en cuenta las capacidades de I/O, considerando que la estación pronto podría incluir datos además del audio digital. Los sistemas STL de alta calidad deberían ser capaces de soportar una tasa de muestreo de 44.1 kHz, y deberían incluir una transmisión frame relay e IP (Protocolo de Internet). Ciertos fabricantes proporcionan módulos que se adaptan a los STL existentes, a fin de transportar un flujo de bits por medio de una línea digital E1 (fibra óptica), además del enlace RF.

### 3.5 COMPARACIÓN DE LOS ESTÁNDARES ANALIZADOS

En la tabla 3.13 se presenta el grado de cumplimiento de los estándares de radiodifusión digital DRM e IBOC, con respecto a los requisitos presentados en la tabla 3.1 para ofrecer un servicio de radiodifusión sonora digital.

Características de los sistemas	Importancia	En el diseño	
		DRM	IBOC
<b>1 Requisito estándar del sistema</b>			
a) El receptor digital debe funcionar en todo el mundo	A	Sí	Sí
<b>2 Capacidad de efectuar la transición analógico a digital gradualmente</b>			
a) Simulcast (analógico y digital comparten un único canal)	A	Sí	Sí
b) Multicast (analógico y digital ocupan canales diferentes)	A	Sí	Sí
<b>3 Difusión de datos</b>			
a) Audio y datos, o sea capacidad de difusión de datos	B	Sí	Sí
b) Haz control de acceso y aleatorización	C	Sí	Sí
<b>4 Requisitos de calidad de funcionamiento audio</b>			
a) Mejorar la calidad audio con respecto a la de los sistemas analógicos equivalentes	A	Sí	Sí
b) Varios idiomas o monodual	B	Sí	No
c) Capacidad de estéreo	B	Sí (pseudo-estéreo a 9 ó 10 kHz)	Sí
d) División dinámica de velocidad binaria entre audio y datos (datos oportunistas)	B	Sí	Sí
e) Velocidad binaria seleccionable en etapas cortas y velocidad binaria mayor soportada más que conseguible en el momento de introducción	B	Sí	Sí
<b>5 Uso eficaz del espectro</b>			
a) Frecuencia única desde transmisores separados geográficamente o co-situados	B	Sí	Sí
b) Cumplir las normas de la UIT sobre anchura de banda y espaciado de canales RF	A	Sí	Sí (totalmente digital)
c) Potencial de interferencia no superior a la modulación de amplitud equivalente	A	Sí	Sí
d) Susceptibilidad a la interferencia no superior a la modulación de amplitud equivalente	A	Sí	Sí
<b>6 Fiabilidad del servicio</b>			
a) Mejorar la fiabilidad de recepción	A	Sí	Sí
b) Susceptibilidad a efectos de desvanecimiento considerablemente reducida	A	Sí	Sí
c) - Conmutación automática de frecuencias del receptor	A	Sí	Sí

Características de los sistemas	Importancia	En el diseño	
		DRM	IBOC
- Conmutación automática inaudible de frecuencias del receptor	C	Sí	Sí
d) Recepción vehicular, portátil y fija	A	Sí	Sí
e) Sintonización rápida	A	Sí	Sí
f) Degradación gradual	B	Sí (varios modos)	Sí (modo híbrido)
g) Mantiene zona de cobertura	A	Sí	Sí
h) Bueno en recepción en interiores	A	Sí	Sí
<b>7 Información de servicio para elección de sintonización</b>			
a) Selección simplificada de servicios mediante datos relacionados con el programa para seleccionar el radiodifusor y el contenido de programa	B	Sí (proporcionado en la norma)	Sí
<b>8 Consideraciones sobre el sistema de transmisión</b>			
a) Uso de transmisores modernos existentes en modo digital y analógico	A	Sí	Sí
b) Ahorro de energía al cubrir la misma zona de servicio con la misma fiabilidad de servicio	C	Sí	Sí
c) Las emisiones no esenciales y fuera de banda se conforman al Reglamento de la UIT	A	Sí	Sí
<b>9 Consideraciones sobre el receptor</b>			
a) La complejidad del sistema no impedirá los receptores baratos	A	Sí	Sí
b) La complejidad del sistema permitirá receptores de baterías de bajo consumo	B	Sí	Sí
<b>10 Elección de variables</b>			
a) Posibilidad de seleccionar los parámetros de sistema según los requisitos del radiodifusor	B	Sí	Sí

**Tabla 3.13: Grado en que los sistemas DRM e IBOC cumplen los requisitos para dar servicio de radiodifusión digital**

Luego del estudio comparativo entre los estándares de radiodifusión sonora digital que se ha realizado a lo largo de este capítulo, hemos considerado que el mejor sistema a implementarse en el país es el sistema DRM, debido principalmente a las siguientes razones:

En cuanto a los requerimientos de ancho de banda del canal RF, el sistema DRM requiere de un ancho de 10 kHz para una transmisión de calidad en el formato completamente digital, mientras que el sistema IBOC requiere 20 kHz, lo que causaría problemas en la distribución de frecuencias. Los requerimientos de ancho de banda aumentan para una transmisión simulcast en el proceso de

transición, para DRM se requiere un ancho mínimo de 20 kHz<sup>90</sup>, y para IBOC un ancho de banda mínimo de 30 kHz.

Según el análisis de cada uno de los estándares, vemos que en el sistema DRM la señal digital es mucho más elaborada que para el sistema IBOC, por lo que frente a las condiciones de propagación estas señales son más robustas, si bien el retardo en la señal DRM es mayor que para el caso de una señal IBOC, este hecho se compensa con su buena adaptación a canales adversos. Lo citado anteriormente se comprueba con las emisiones de prueba en los dos sistemas, para el caso de DRM la señal se transmite con la misma calidad en el día y la noche, sin embargo para IBOC las transmisiones nocturnas continúan siendo un problema, por lo que la FCC ha aprobado este sistema en EE.UU. temporalmente sólo para transmisiones diurnas.

El sistema DRM está diseñado para operar en todas las bandas por debajo de 30 MHz, es decir, AM y onda corta, en cambio IBOC solamente opera en AM y FM. Sin embargo, el consorcio DRM está trabajando en la extensión del estándar hacia las bandas por debajo de 120 MHz, planeado para mediados del 2007, el cual se denomina DRM+. De esta manera se podría abarcar AM, onda corta, y FM con el mismo estándar, permitiendo un único receptor para poder captar todos los servicios en estas bandas.

DRM es un estándar mundial respaldado por la UIT, es un estándar abierto, lo que puede resultar atractivo a fabricantes para desarrollar aplicaciones o equipamientos adicionales al mismo, en cambio, IBOC es un producto que por sus derechos se debe cancelar una licencia anual.

DRM contempla la difusión de datos avanzados para sus fases futuras de aplicación para onda corta, AM, y posteriormente FM, lo que no ocurre para IBOC que solo soporta este servicio para FM y maneja aplicaciones de texto básicas para la banda AM.

---

<sup>90</sup> La versatilidad en la ocupación del espectro permite combinaciones no necesariamente de 20 kHz, el valor recomendado corresponde a una transmisión digital a analógica de buena calidad.

### **3.6 RECONOCIMIENTO DE UN SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL BASADO EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DRM EN LAS INSTALACIONES DE HCJB - PIFO**

Desde los comienzos de la radiodifusión en nuestro país, HCJB La Voz de las Andes, ha sido la pionera en sus transmisiones iniciales en onda corta, y posteriormente en AM y FM. Nuevamente HCJB, afronta el reto de iniciar emisiones piloto para experimentar con el sistema de radiodifusión digital DRM. A finales del año 2000, HCJB inició las primeras emisiones con DRM en su estación de Pifo, principalmente para conocer el desempeño del mismo en la región tropical. De estas pruebas se retomaron datos importantes como la implementación de los modos C y D que constan en la última especificación de DRM, dada por la ETSI (ETSI ES 201 980 V2.2.1 Octubre del 2005).

Como complemento a nuestro estudio de radio digital se presentarán los datos más relevantes acerca de la implementación del sistema por parte de esta radiodifusora, así como también las experiencias obtenidas con el sistema.

Básicamente las transmisiones digitales que HCJB está realizando son en la banda de onda corta, a la frecuencia de 15370 kHz y 9745 kHz, estas pruebas se realizan aproximadamente una vez por semana con el fin de observar el comportamiento del sistema. A pesar que el sistema DRM está definido para todas las bandas por debajo de 30 MHz, HCJB prefiere la emisión en onda corta debido a los inconvenientes que la estación tiene en su sistema de radio enlace STL, para la frecuencia de 690 kHz en AM.

El sistema de transmisión consta de un servidor de contenido Harris, el cual es alimentado con la programación del estudio de Quito mediante un enlace analógico que es recibido en la estación de Pifo. El servidor de contenido dispone de entradas analógicas, y es el encargado de organizar la señal de audio y generar posteriormente el multiplex DRM. Básicamente este dispositivo es una computadora, cuyo control se realiza mediante software, en el cual se configura el

modo de transmisión, las constelaciones utilizadas para cada canal del multiplex, la profundidad de entrelazado, el nivel de protección, el tipo de codificación de audio, manejo de múltiple programación en el multiplex DRM, lenguaje, aplicaciones básicas de texto, además permite la programación de transmisiones de señales analógicas y digitales simultáneamente (Simulcast).

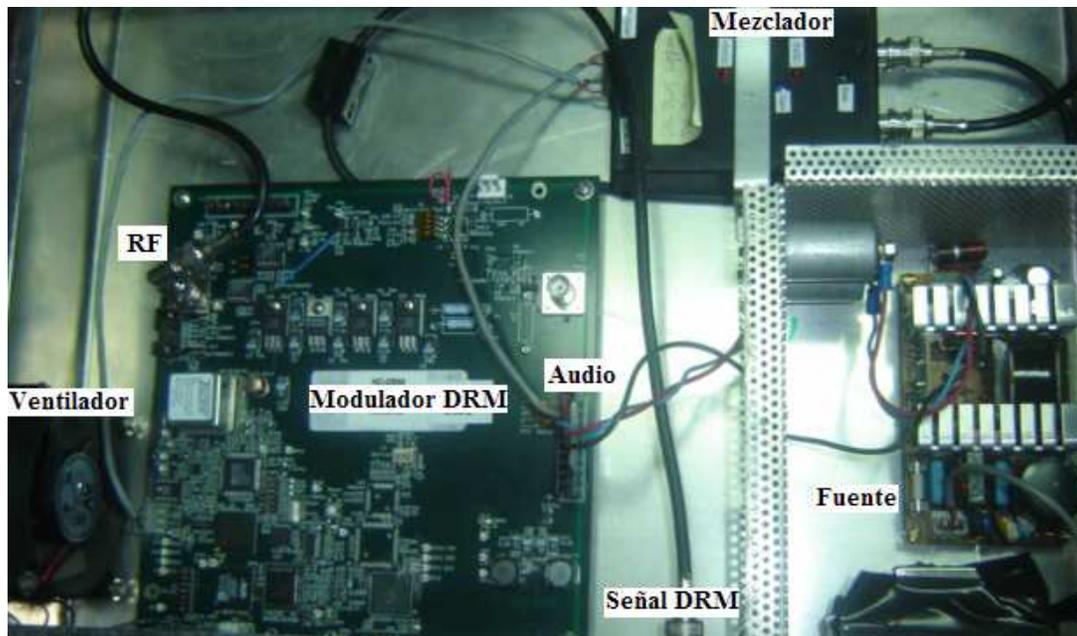


**Figura 3.35: Servidor de contenido Harris CSB-100**

Posteriormente mediante una salida de fibra óptica la señal DRM en formato DCP se enlaza directamente con el modulador DRM, el cual es el encargado de organizar la señal en las subportadoras OFDM. El modulador DRM observado en la figura 3.37 es un dispositivo básico de primera generación, que no presenta funciones avanzadas y cuyas salidas son las señales de audio y radiofrecuencia.



**Figura 3.36: Vista frontal del modulador DRM**



**Figura 3.37: Tarjeta madre del modulador DRM**

Como se observa en la figura 3.37, las señales de audio y radiofrecuencia se combinan en un mezclador, para obtener la señal digital DRM; como esta señal es de baja potencia,  $100 \mu\text{W}$ , entonces se pasa a un preamplificador de señal con una ganancia de 30 dB, para posteriormente ser enviada al transmisor.

El transmisor utilizado se compone de un amplificador lineal de potencia, marca Siemens, con una potencia de salida de 3 KW, dejando un rango para la relación pico promedio, que en caso de señales digitales que utilizan modulación multiportadora puede llegar hasta 10 dB. La eficiencia del transmisor utilizado, por ser lineal es deficiente, pero por tratarse de emisiones piloto de corta duración, no es un factor importante. La principal ventaja de utilizar amplificación lineal es que no se necesita procesamiento excesivo de la señal para alimentar al transmisor.



**Figura 3.38: Transmisor lineal Siemens**

La salida del transmisor tiene una impedancia de  $50 \Omega$  desbalanceada, por lo que se requiere un dispositivo convertidor a impedancias balanceadas (Balun), ya que las líneas de transmisión utilizadas para alimentar a las antenas son balanceadas. Este dispositivo se muestra en la figura 3.39:



**Figura 3.39: Balun**

Para la transmisión DRM en onda corta se utiliza una antena tipo H, que no necesita de ninguna unidad de sintonización, y no presenta problemas en su ancho de banda para transmitir la señal digital. El uso de este tipo de antena se relaciona con la propagación de onda NVIS (Near-vertical-incident Sky wave), propagación ionosférica casi vertical, muy utilizada en la banda tropical y con la cual se alcanza cobertura nacional sin la necesidad de ninguna repetidora.

En el caso de transmisiones en onda media, el ancho de banda de la antena juega un papel muy importante, por lo que es necesario evaluar el comportamiento de impedancia de la antena en el ancho de banda requerido para posteriormente construir una unidad de sintonización que permita incrementar el ancho de banda de la misma.



**Figura 3.40: Antena tipo H**

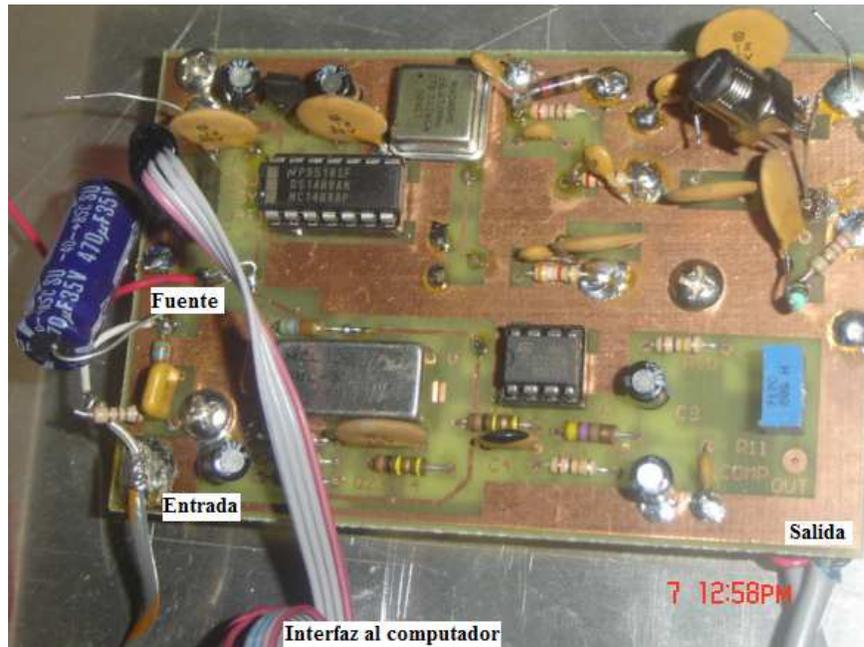


**Figura 3.41: Red T de sintonización en AM**

Para captar y monitorear la señal DRM, se utiliza primeramente un modulo conversor de frecuencia intermedia centrado a 455 kHz, con el objeto de decodificar el multiplex DRM; la señal de 455 kHz se procesa de manera tal que podamos obtener una frecuencia de 12 kHz apta para la entrada de la tarjeta de sonido de cualquier computador. La decodificación de la señal DRM se realiza mediante software, de la variedad de programas disponibles para este efecto se utiliza la aplicación Dream, la cual permite la visualización del espectro de la señal digital, la descomposición de la misma en los canales principales, la visualización de las aplicaciones básicas de texto y la decodificación del sonido de la programación.



**Figura 3.42: Software Dream**



**Figura 3.43: Módulo de frecuencia intermedia a 12 kHz**

Al realizar las pruebas de emisión, los modos A y B no presentaron un buen desempeño, ya que el sonido presentó ruido, los modos C y D, demostraron ser los mejores modos para la propagación en esta banda, ya que mostraron una calidad de sonido similar al FM actual.

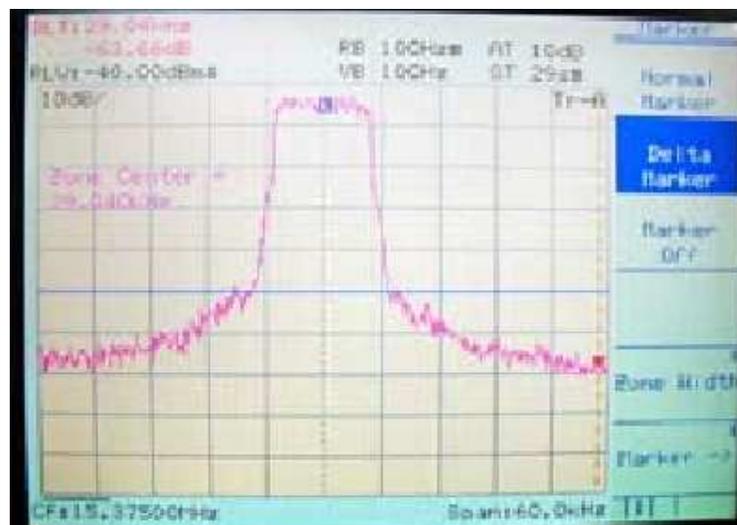
El multiplex se configuró con una profundidad de entrelazado de 2 segundos, si bien este procedimiento aumentó la robustez de la señal contra los desvanecimientos, el retardo con respecto a una señal analógica fue de alrededor de 5 segundos.

Otro aspecto que se analizó fue evaluar el sistema en las diferentes constelaciones para el transporte de la información, primeramente se configuró un valor de constelación de 64 QAM para el MSC, 16 QAM para el SDC y 4 QAM para el FAC, con lo que se obtuvieron puntos de constelación dispersos debido al ruido que presentaba el canal, afectando la calidad de la señal. Para mejorar este espectro, el modo de configuración más recomendable sería el siguiente: 16 QAM para el MSC, 4 QAM para el SDC y 4 QAM para el FAC, si bien es un modo menos eficiente espectralmente brinda mayor robustez contra las adversidades

del canal, este modo complementado con los modos C y D mejora la calidad de la señal, superando las transmisiones en onda corta y onda media que actualmente se emiten.

Para la codificación de la señal de audio se evaluó el sistema tan solo con el codec AAC sin utilizar las codificaciones especiales SBR y PS, el resultado no cumplió las expectativas que se esperan en la radiodifusión digital. Al complementar el codec AAC con las codificaciones SBR y PS, el resultado obtenido fue una calidad similar a FM, ya que estas técnicas amplían el ancho de banda audible de la señal, permitiendo al oyente apreciar la señal como si fuera estéreo

Con ayuda de un analizador de espectros digital comprobamos también el cumplimiento de la máscara espectral de la señal DRM sugerida por la UIT, mediante su recomendación BS. 1615. Se debe tener en cuenta que el cumplimiento de la máscara espectral está directamente relacionada con las características del transmisor (linealidad), además se debe considerar la relación pico-promedio para evitar emisiones fuera de banda, y prevenir interferencias en canales adyacentes.



**Figura 3.44: Máscara espectral de la señal DRM**

## **CAPÍTULO 4: IMPLICACIONES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL ESTÁNDAR SELECCIONADO SOBRE EL MARCO REGULATORIO DE LA RADIODIFUSIÓN DIGITAL POR DEBAJO DE LOS 30 MHZ**

---

### **4. 1 SITUACIÓN DE LA RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL EN LATINOAMÉRICA**

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. 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 radiodifusión sonora digital en el continente europeo se han adoptado los estándares DAB para FM y DRM para AM (ondas largas, medias y cortas). La radiodifusión digital en FM está muy adelantada a la AM, 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.

Una situación similar a la europea es el caso de Australia, donde luego de considerar los estándares IBOC, DRM, DAB, y ISDB-T, se determinó en adoptar

DAB para FM y DRM para AM. También la situación regulatoria en Australia está muy adelantada.

En el continente asiático, los mercados clave como India y China han adoptado al estándar DRM para la radiodifusión por debajo de los 30 MHz. Japón, en cambio, ha desarrollado su propio estándar, ISDB.

Canadá ha adoptado el estándar DAB para la radiodifusión en FM en la banda L, por lo que se pensaría que adoptará DRM para la radiodifusión en AM.

En Estados Unidos se ha desarrollado 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. Se realizan también pruebas de transmisión con el estándar DRM para la onda corta.

Actualmente los receptores comerciales para la radiodifusión digital son muy costosos ya que funcionan con DSP, tanto en IBOC como en DRM los costos de los receptores oscilan entre \$250 y \$300. El consorcio DRM ha firmado acuerdos con empresas chinas para la producción de chipsets para abaratar los costos de los receptores DRM. Un receptor Morphy Richards tiene un costo de \$250, con el nuevo chipset se espera que cueste alrededor de \$150, hay que tener en cuenta que este receptor puede sintonizar estaciones tanto con el sistema DRM como con el sistema DAB, con lo que para Latinoamérica este costo puede bajar y conforme se produzcan más dispositivos este precio puede bajar aún más. IBiquity quiere hacer lo mismo para los receptores de su sistema IBOC.

La situación en Latinoamérica aún no está definida, grandes mercados como México y Brasil han realizado pruebas de transmisión con los estándares DAB, DRM y IBOC. Por el momento se ha optado por el sistema IBOC para las bandas en AM y FM, y por el sistema DRM para la onda corta. 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.

En nuestro país se han realizado pruebas de transmisión con el sistema DRM gracias al interés de HCJB; en la sección 3.6 del capítulo 3 se presentó la manera de cómo se implementó este sistema de radiodifusión en dicha estación. 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.

La corporación iBiquity ha ofrecido en México 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.

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 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.

Como se trató en la sección 3.5 del capítulo 3, debido a razones técnicas hemos propuesto que el mejor estándar a implementarse en el país es el sistema DRM, y

con mucha más razón con la extensión de dicho estándar por debajo de los 120 MHz, donde se alcanzaría la banda FM. 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. A continuación se sugerirá posibles reformas al marco regulatorio que rige la radiodifusión sonora por debajo de los 30 MHz.

#### **4. 2 SUGERENCIAS SOBRE EL MARCO LEGAL QUE REGULA LA RADIODIFUSIÓN SONORA EN EL PAÍS**

El marco regulatorio que rige la radiodifusión y televisión en el país está dado por las siguientes leyes, reglamentos y aspectos legales, las cuales se presentan en el Anexo 9, tomando en cuenta los artículos correspondientes a la radiodifusión sonora por debajo de los 30 MHz:

- Ley de Radiodifusión y Televisión, publicada en el Registro Oficial No. 785 del 18 de abril de 1975, y sus reformas publicadas en los Registros Oficiales: No. 691 del 9 de mayo de 1995 y No. 699 del 7 de noviembre del 2002.
- Reglamento General a la Ley de Radiodifusión y Televisión y su Reforma, publicado en el Registro Oficial No. 864 del 17 de enero de 1996.
- Actualización de los valores de tarifas por concesión y utilización de frecuencias, canales y otros servicios de radiodifusión y televisión, publicado en Registro Oficial No. 224 del 1 de julio de 1999 y su reforma publicada en Registro Oficial No. 66 del 27 de abril del 2000.
- Ley Especial de Telecomunicaciones, publicada en el Registro Oficial No. 996 del 10 de agosto de 1992, y su reforma publicada en el Registro Oficial No. 770 en agosto de 1995.
- Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, publicada en el Registro Oficial No. 404 del 4 de septiembre del 2001.
- Acuerdo Regional de Río de Janeiro de 1981 sobre el servicio de radiodifusión por ondas hectométricas en la Región 2.

- Plan nacional de distribución de frecuencias para radiodifusión y televisión, para la atribución de bandas de frecuencias y los distintos servicios como su uso y control, dado el 28 de octubre del 2005.

La regulación de los servicios de telecomunicaciones es necesaria ya que el espectro radioeléctrico tiene una limitación natural, causando una problemática en la asignación de frecuencias debido a la demanda de frecuencias o canales para medios de radiodifusión; por lo que se tiene la necesidad de optimizar y racionalizar el uso del espectro. Igualmente la regulación es necesaria para evitar interferencias perjudiciales entre los distintos servicios dentro del espectro radioeléctrico.

Como consta en la Ley de Radiodifusión y Televisión y su Reglamento, la concesión, regulación, autorización, administración y control de una frecuencia para la radiodifusión está a cargo de los organismos reguladores del Estado (CONARTEL y SUPTEL).

Cabe aclarar que actualmente no existe una norma técnica reglamentaria para radiodifusión en amplitud modulada analógica en el país, por lo que solamente se sugiere pautas en el aspecto regulatorio. La aprobación técnica de una estación AM considera el Acuerdo Regional sobre el servicio de radiodifusión por ondas hectométricas celebrado en la ciudad de Río de Janeiro en el año 1981 y de la Ley y Reglamento de Radiodifusión y Televisión vigente. Para onda corta se utilizan las disposiciones indicadas en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT, ya que estas señales son de carácter regional y mundial.

Como se indicó en el capítulo 1, la banda AM esta distribuida en canales que ocupan un ancho de banda de 10 kHz con una canalización de 20 kHz. El sistema de radiodifusión digital DRM es completamente compatible con la organización espectral ecuatoriana actual y no requiere una re-organización del espectro de 525 a 1705 kHz, ya que este sistema utiliza un ancho de banda de 10 kHz para el modo de transmisión completamente digital, y en el modo de transmisión

simulcast utiliza un ancho de banda de 20 kHz<sup>91</sup>, y manteniendo las relaciones de protección del espectro necesarias no se causaría interferencia alguna con otros canales. Lo anteriormente mencionado también se cumple para la radiodifusión sonora en onda corta, en sus respectivas bandas de frecuencia asignadas.

En la normativa ecuatoriana debería constar el esquema de radiodifusión digital que se utilizará, en el capítulo 3 nuestra recomendación fue el sistema DRM. Cabe recalcar que el sistema DRM fue adoptado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones como norma mundial para radiodifusión sonora digital, aplicable a las bandas por debajo de los 30 MHz; y próximamente se ampliará este esquema por debajo de los 120 MHz, con lo que se incluye la banda FM.

El Plan Nacional de Frecuencias establece que las bandas 525 - 535 kHz y 535 - 1605 kHz, son atribuidas al servicio de radiodifusión sonora en amplitud modulada. También establece que las bandas 1605 - 1625 kHz y 1625 - 1705 kHz, son reservadas hasta que el servicio de radiodifusión digital entre en vigencia en la banda de 525 kHz a 1705 kHz. Las bandas 2.3 - 2.495 MHz, 3.2 - 3.4 MHz, 4.75 - 4.995 MHz, 5.005 - 5.06 MHz, 5.9 - 6.2 MHz, 7.3 - 7.35 MHz, 9.4 - 9.9 MHz, 11.6 - 12.1 MHz, 13.57 - 13.87 MHz, 15.1 - 15.8 MHz, 17.48 - 17.9 MHz, 18.9 - 19.02 MHz, 21.45 - 21.85 MHz, 25.67 - 26.1 MHz, son atribuidas al servicio de radiodifusión sonora en onda corta.

Al tratarse de un sistema de radiodifusión sonora digital, las relaciones de protección para la transmisión de una señal radiofónica cambian. Se puede tomar en cuenta las recomendaciones citadas por la UIT, considerando los diversos factores técnicos y sus límites necesarios para operar un sistema de radiodifusión digital. También se debe considerar las nuevas definiciones que aparecen con la tecnología digital.

Como el objetivo de esta sección consiste en sugerir posibles reformas sobre la normativa nacional en base al sistema digital propuesto, resulta inoportuno

---

<sup>91</sup> Cabe destacar que el sistema DRM es flexible en cuanto a la ocupación del espectro, ya que puede utilizarse sobre anchos de banda de 4.5, 5, 9, 10, 18 y 20 kHz. Por lo que la implementación de transmisiones simulcast dependería de los valores citados anteriormente.

esbozar los diversos parámetros técnicos recomendados por la UIT para la radiodifusión sonora digital, dado que no se trata aquí de una recomendación para establecer una norma técnica. Para mayor información de los parámetros técnicos que facilitarían la planificación de la radio digital, se puede referir a la recomendación BS. 1615 de la UIT-R, "Parámetros de planificación para la radiodifusión sonora digital en frecuencias inferiores a 30 MHz", este documento podría ser tomado en cuenta para la elaboración de una norma técnica para la radiodifusión sonora digital en bandas debajo de 30 MHz.

Como se establece en el título IV, capítulo II de la Ley de Radiodifusión y Televisión en cuanto a la calidad del contenido de la programación de las estaciones de radiodifusión, adicionalmente se debe considerar que contenido debería tener los datos (texto, imágenes fijas) a ser transmitidos de acuerdo a las aplicaciones adicionales en una estación de radiodifusión digital.

Otra posible medida que se podría realizar es el de establecer fechas límites de funcionamiento para las transmisiones analógicas; para que de esta manera todos los concesionarios de frecuencias actualicen sus instalaciones y equipos a fin de poder migrar hacia la radiodifusión digital. Se podría considerar en pasar por una fase híbrida, pero no se apreciaría las ventajas de la tecnología digital, por lo que sería recomendable pasar directamente a un modo de transmisión totalmente digital, a fin de aprovechar el valor agregado que ofrece esta tecnología.

Por último se podría implementar políticas de estado para incentivar la radiodifusión digital tanto en los concesionarios como en los oyentes, políticas como, bajar impuestos para la importación de los equipos de radiodifusión, realizar el ensamblaje de los equipos en el país, a fin de que los costos estén al alcance del consumidor.

## CAPÍTULO 5:

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

- La migración de tecnologías analógicas a digitales aplicables a la radiodifusión sonora tiende a ser inevitable, debido a diversos factores tales como: 1) El incremento en la exigencia por parte del usuario con respecto a la calidad del servicio que recibe, 2) La diversidad de nuevas aplicaciones, 3) El aprovechamiento de las técnicas digitales para el uso eficiente del espectro radioeléctrico, 4) La tendencia a nivel mundial es actualizar tecnologías analógicas hacia tecnologías digitales.
  
- Una desventaja de los sistemas actuales de radiodifusión sonora con modulación de amplitud, es la pobre calidad de señal que los mismos ofrecen, por esta razón es importante revitalizar estas bandas con técnicas digitales que permitan, por un lado brindar mayor calidad en la señal de audio transmitida, y por otro seguir aprovechando la cobertura que estas bandas ofrecen debido a la naturaleza de propagación de las ondas de radio.
  
- La tecnología digital permite eliminar casi al máximo las interferencias que siempre han afectado a las transmisiones analógicas, gracias a la técnica de multiplexación por división de frecuencias ortogonales OFDM, que permite la transmisión de información sobre múltiples portadoras eliminándose la interferencia inter-símbolo (con inserción del intervalo de guarda), y la interferencia entre portadoras (al ser ortogonales), produciéndose señales resistentes a canales con trayectorias múltiples y efecto doppler.
  
- Adicionalmente y como algo muy importante, se debe considerar el hecho que los usuarios de un sistema de radiodifusión digital podrán disfrutar de una serie de servicios adicionales que a través de las señales de radio se

ofrecerán. Estos servicios van desde datos hasta textos e imágenes fijas, pasando por información en forma de caracteres que, definitivamente en conjunto ofrecerán algo nunca imaginado por nadie que escuche radio.

- Si bien es cierto la implementación de un sistema de radiodifusión digital precisa fuertes inversiones, no es menos cierto tampoco que estas pueden irse haciendo desde ya, es decir cualquier compra que a futuro se precise hacer en radio, deberá ser hecha pensando en la posibilidad de que algún momento estos equipos sean acoplados y entren a ser parte de una emisora con tecnología digital, desde sus procesos de audio hasta la transmisión en RF.
- La perspectiva de los sistemas de radiodifusión digital en América Latina depende de factores técnicos, políticos y económicos. Por una parte la situación económica de América Latina hace que la transición de radio analógica a digital vaya a ser muy lenta con respecto a otros países a nivel mundial. El hecho de que DRM sea un estándar abierto es un punto a favor para que sea adoptado por estos países, ya que les permitiría crear industrias alrededor de esta nueva tecnología (al menos legalmente es posible, lo que es muy difícil es si hay capacidad económica y tecnológica. Por ejemplo en grandes mercados como México y Brasil si la hay). Por otra parte, la influencia política y económica de Estados Unidos es grande, y iBiquity hará "políticas especiales" a los países de América Latina (en México se dice que si adoptan el estándar IBOC, no les cobrarán la licencia a las emisoras). La tercera variante es la gran extensión de territorio de los países de América Latina y con poblaciones muy dispersas, por lo que las radiodifusoras en frecuencias de onda media y onda corta tienen mucho futuro, y con tecnología digital más aún.
- La aplicación en toda la banda por debajo de los 30 MHz del sistema DRM, y su próxima ampliación hacia por debajo de los 120 MHz, motivó a que el mismo sea considerado el más apropiado a implementarse en el país, ya que se tendría una norma única tanto para FM, AM y onda corta,

requiriendo un solo receptor para sintonizar las señales de radio en estas bandas.

- DRM está concebido para ofrecer sus servicios de radiodifusión digital dentro de la actual planificación de frecuencias de nuestro país, por lo que no sería necesario una re-organización del espectro radioeléctrico. En cambio, IBOC requiere un ancho de banda mayor ante la actual planificación, de allí su dificultad de aplicación.
- El sistema DRM es recomendado por la UIT como un estándar a nivel mundial, ya que ha sido elaborado en base a estudios realizados en diferentes partes del planeta, recogiendo datos importantes sobre las condiciones de propagación, creando de esta manera diferentes modos de transmisión que se adaptan a las diversas características de los canales de radiofrecuencia.
- El consorcio DRM ofrece un sistema de radiodifusión digital abierto, por lo que resulta atractivo por un lado para los usuarios ya que los mismos conocerán los detalles de cómo trabaja el equipo, y por otro los fabricantes de los equipos ya que de esta manera se podría fomentar mercados de libre competencia. En cambio, IBOC es un producto donde se tiene información básica del funcionamiento del sistema y no se puede tener acceso a la información que permita involucrarnos con la producción de equipos.
- Una importante iniciativa que propone el consorcio DRM es la posibilidad de recibir o de receptar señales DRM con la utilización de un computador personal, un software decodificador de distribución libre, y un módulo de frecuencia intermedia. Esto está permitiendo que varios radioaficionados comprueben las funcionalidades del sistema, difundan el sistema a nivel mundial y lo más importante muestren que el sistema es una realidad y no solo conjeturas.

- Otra ventaja del sistema DRM es su robustez frente a las adversidades de los canales de propagación, debido fundamentalmente a las siguientes razones: 1) las múltiples etapas de codificación, 2) las múltiples etapas de entrelazado, 3) la diversidad de los parámetros en la señal transmitida OFDM, este proceso elaborado se traduce en una buena calidad de la señal frente a cualquier desvanecimiento de frecuencia en el canal de transmisión.
- Para la implementación de un sistema digital de radiodifusión sonora los cambios dentro del marco regulatorio estarían basados en las recomendaciones de la UIT y de la regulación actual. Podría haber problemas legales que impidan la transmisión en onda media de radio digital, en la conferencia de Río de Janeiro en 1981 (región 2 de la UIT), se estableció que en la banda de onda media se debía transmitir con modulación en amplitud. Esta norma se modificará en breve, ya que a nadie le interesa que no se pueda transmitir en digital. En onda corta ya se están realizando transmisiones regulares, y no sería necesario cambios regulatorios. En onda media habría que regular lo que ahora se regula y además tener en cuenta ciertas características de la radio digital, por ejemplo, la posibilidad de tener más de un servicio de audio, la nueva relación de protección de potencia entre transmisiones, o la posibilidad de usar redes SFN para obtener mayor cobertura (y aumentar la eficiencia del espectro radioeléctrico). También habría que regular el periodo de transición (en el caso de utilizar simulcast).
- La mejor manera de migrar hacia un sistema de radiodifusión digital sería dar un plazo límite para transmisiones analógicas, para de esta manera asegurar que el mayor número de estaciones puedan actualizar sus equipos, esto debido a que la utilización de simulcast (transmisiones analógicas y digitales simultáneas), demandarían dividir el ancho de banda que disponen y por tanto ofrecer servicios de calidad no óptima, además pensar en una re-organización del plan de frecuencias para los servicios de radiodifusión sonora serían más difíciles aún.

- Con el objetivo de actualizar los equipos de una estación de radiodifusión sonora, las estaciones deberían realizar un plan de migración que contemple el estudio de los puntos críticos del sistema, como son los transmisores, el sistema de antenas, y los enlaces estudio-transmisor, de esta manera se determinará la inversión a realizarse para la conversión, la misma dependerá de qué tan modernos sean los equipos actuales.
- El inicio de las pruebas por parte de HCJB es un gran paso para comenzar estudios serios que consideren la implementación de un estándar o norma de radiodifusión digital en el país. HCJB ha demostrado que con un planeamiento eficiente y una inversión relativamente baja se puede iniciar emisiones pilotos que permitan familiarizarse con el sistema. Sobre esta base es importante que tanto las radiodifusoras y las organizaciones gubernamentales concernientes al servicio de radiodifusión se integren a esta iniciativa para en el futuro decidirse por el estándar de radiodifusión digital más apropiado.

## BIBLIOGRAFÍA

- TOMASI Wayne; “Sistemas de Comunicación Electrónicas”; Pearson Educación; 2003.
- COUCH Leon; “Análisis de Comunicación Digitales y Analógicos”; P. Educación; 1998.
- OPPENHEIM Alan; “Señales y Sistemas”; Prentice Hall; 1998.
- CARDAMA A., JOFRE L., RIUS J., ROMEAU J., BLANCH S., FERRANDO M.; “Antenas”; Alfaomega; 2004.
- [www.arieldx.com.ar](http://www.arieldx.com.ar) (Bandas de espectro radial)
- [www.redeya.com](http://www.redeya.com) (Principios básicos de transmisión por radio)
- [www.supertel.gov.ec](http://www.supertel.gov.ec) (Superintendencia de Telecomunicaciones)
- [www.conartel.gov.ec](http://www.conartel.gov.ec) (Consejo Nacional de Telecomunicaciones)
- [www.inec.gov.ec](http://www.inec.gov.ec) (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos)
- [www.tuwien.ac.at](http://www.tuwien.ac.at) (Universidad Técnica de Viena)  
ZEMEN Thomas; “OFDM multi-user communication over time-variant channels”; 2004.
- [www.ofdmradio.com](http://www.ofdmradio.com) (Información sobre radiodifusión digital)
- [www.itu.int](http://www.itu.int) (Unión Internacional de Telecomunicaciones)  
Recomendación UIT-R BS.1514-1: Sistema para radiodifusión sonora digital en las bandas de radiodifusión por debajo de 30 MHz; 2002.  
Recomendación UIT-R BS.1348-1: Requisitos de servicio de la radiodifusión sonora digital para frecuencias inferiores a 30 MHz; 2001.  
Recomendación UIT-R BS.1349: Realización de la radiodifusión sonora digital para receptores instalados en vehículos, portátiles y fijos con transmisores terrenales en las bandas de ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas.  
Recomendación UIT-R BS.1615: Parámetros de planificación para la radiodifusión sonora digital en frecuencias inferiores a 30 MHz; 2003.  
Informe sobre la Cuestión 11-1/2 para 2005: Examen de las tecnologías y sistemas de radiodifusión digital, incluidos los análisis de rentabilidad, el interfuncionamiento de los sistemas terrenales digitales con las redes analógicas existentes y métodos para la migración de las técnicas terrenales analógicas a las técnicas digitales; 2006.
- [www.nrsstandards.org](http://www.nrsstandards.org) (Comité Nacional de Sistemas de Radio de Estados Unidos)  
NRSC-5-A In-band/on-channel digital radio broadcasting standard (2005-09).  
AM transmission system specifications; 2005.  
Air interface design description - Advanced Application Services transport; 2005.  
Air interface design description - Audio transport; 2005.  
Air interface design description - Layer 1 AM; 2005.

Air interface design description - Layer 2 channel multiplex; 2005.  
 Air interface design description - Program Service Data; 2005.  
 Air interface design description - Program Service Data transport; 2005.  
 Air interface design description - Station Information Service transport; 2005.

- [www.etsi.org](http://www.etsi.org) (Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo)  
 Especificación del sistema DRM: ETSI ES 201 980 V2.2.1 (2005-10).  
 Directorio de aplicaciones de datos de DRM: ETSI TS 101 968.  
 Protocolo de comunicación y distribución (DCP): ETSI TS 102 821.  
 Limitaciones Específicas para el uso del Protocolo DCP: ETSI TS 102 358.
- [www.fcc.gov](http://www.fcc.gov) (Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos)
- [www.iquity.com](http://www.iquity.com) (Corporación digital iBiquity)  
 DETWEILER Jeff; "Conversion requirements for AM & FM IBOC transmission".  
 JOHNSON Steven; "The structure and generation of robust waveforms for AM In band on channel digital broadcasting".
- [www.drm.org](http://www.drm.org) (Consorcio DRM)  
 Broadcasters' User Manual; 2004.  
 Pruebas de DRM en México D.F. - Simulcast en Onda Media; 2006.
- [www.nab.org](http://www.nab.org) (Asociación Nacional de Difusores de Estados Unidos)
- [www.ce.org](http://www.ce.org) (Asociación de Consumidores Electrónicos de Estados Unidos)
- [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com) (Enciclopedia en línea)
- [www.rwonline.com](http://www.rwonline.com) (Revista en línea Radio World)
- [www.beradio.com](http://www.beradio.com) (Revista en línea de Radio)
- [www.telos-systems.com](http://www.telos-systems.com) (Equipos de radiodifusión)  
 NOVAK Clark; "Spectral Band Replication and AACplus Coding – An Overview".
- [www.codingtechnologies.com](http://www.codingtechnologies.com) (Codificación de audio)
- [www.iis.fraunhofer.de](http://www.iis.fraunhofer.de) (Instituto para circuitos integrados, desarrollo de equipos y sistemas microelectrónicos)
- [www.harris.com](http://www.harris.com) (Servicios, sistemas y productos de comunicaciones)  
 LUU K., DUELLO W. y MATTSSON A.; "Advances in AM modulation techniques to improve digital transmission of HD Radio and DRM"; 2004.  
 MULLIN Keith; "A planning guide: determining the best IBOC migration path for your AM or FM radio station".  
 LIEBISCH Gary; "How HD Radio works NAB 2006"; 2006.  
 LIEBISCH Gary; "Transmission Guide"; 2006.  
 MANFRINI Fernando; "Technology for transition".  
 ALVIZ Juan Pablo; "Técnicas de modulación digital para radiodifusión".  
 SCHMITT Phil, LUU Ky; "Linearity performance of AM transmitters for HD-Radio and DRM performance"; 2004.  
 MATTSSON Anders; "Linearizing HD Radio™ transmitters - A technology survey".

SWANSON Hilmer, DELAY John; "Performance of modern AM modulation methods for linear digital broadcast applications".  
 SPRAGG Don; "DRM - Building the future of AM radio with today's proven technology".  
 Harris and HD Radio: A vision for the future; 2004.  
 IBOC DAB Transmission solutions; 2002.

- [www.nautel.com](http://www.nautel.com) (Fabricante de sistemas de radiodifusión)  
 LONERGAN Wendell; "Nautel AM HD Radio"; 2004.  
 KELLY Charles; "IBOC AM & FM - Implementation issues".  
 IBOC System Networking.  
 The BE Guide to HD Radio; 2005.
- [www.bdcast.com](http://www.bdcast.com) (Fabricante de sistemas de radiodifusión)
- [www.omniaaudio.com](http://www.omniaaudio.com) (Procesamiento de audio para radiodifusión)  
 GARDNER John; "The future of AM and FM radio"; 2005.  
 FOTI Frank; "HD Radio Installation checklist"; 2003.  
 FOTI Frank; "Audio processing & HD Radio"; 2003.  
 MORGAN Chip; "HD Radio Primer"; 2002.
- [www.nemes.colorado.edu](http://www.nemes.colorado.edu) (Universidad de Colorado)  
 RAAB F., ASBECK P., CRIPPS S., KENINGTON P., POPOVIC Z., POTHECARY N., SEVIC J., y SOKAL N.; "Power amplifiers and transmitters for RF and microwave"; 2003.
- [www.ece.ucdavis.edu](http://www.ece.ucdavis.edu) (Universidad de California)  
 BRUSS Stephen; "Linearization methods"; 2003.
- [www.tdx.cesca.es](http://www.tdx.cesca.es) (Tesis doctorales)  
 ZOZAYA Alfonso; "Aportación a la linealización de amplificadores de potencia mediante la teoría de la hiperestabilidad".
- [www.sangean.com](http://www.sangean.com) (Fabricante de receptores de radio)
- [www.mobile.jvc.com](http://www.mobile.jvc.com) (Fabricante de productos electrónicos)
- [www.radiosophy.com](http://www.radiosophy.com) (Fabricante de receptores HD Radio)
- [www.sanyo.com](http://www.sanyo.com) (Fabricante de productos electrónicos)
- [www.digidia.fr](http://www.digidia.fr) (Fabricante de sistemas de radiodifusión digital)
- [www.winradio.com](http://www.winradio.com) (Investigación de tecnologías de comunicación avanzadas)
- [www.mayah.com](http://www.mayah.com) (Desarrollo y distribución de soluciones para comunicaciones de audio y video en redes de difusión y corporativas)
- [www.orban.com](http://www.orban.com) (Tecnología de radiodifusión profesional)
- [www.dlr.com](http://www.dlr.com) (Asesoría de ingeniería de telecomunicaciones)  
 RACKLEY Ronald; "Evaluation and improvement of AM antenna characteristics for optimal digital performance".

AM directional antennas in a digital world; 2005.

- [www.kintronic.com](http://www.kintronic.com) (Diseño y fabricación de componentes y sistemas de radiodifusión)  
COX Bobby, MOSER James; "AM antenna system case studies for DRM and IBOC DAB".
- [www.vozandes.org](http://www.vozandes.org) (Radio HCJB La Voz de los Andes)
- [www.contelec.com](http://www.contelec.com) (Fabricante de equipos de radiodifusión Continental Electronics)  
SPRAGG Donald; "DRM transmitter requirements and applying DRM modulation to existing transmitters".
- [www.broadcastpapers.com](http://www.broadcastpapers.com) (Artículos en línea)  
HENN F., BÖHM R., MELTZER S., ZIEGLER T.; "Spectral Band Replication (SBR) technology and its application in broadcasting"; 2003.
- [www.rtve.es](http://www.rtve.es) (Radio Televisión Española)  
HUERTA José María; "Introducción sistema DRM"; 2005.  
HUERTA José María; "Planificación de servicios DRM"; 2005.
- [www.com.uvigo.es](http://www.com.uvigo.es) (Universidad de Vigo)  
PAGEL Sigfredo; "La radiodifusión en las bandas sub 30 MHz, el sistema DRM".
- [www.thalesgroup.com](http://www.thalesgroup.com) (Fabricante de sistemas electrónicos)  
Understanding Digital Technologies.
- [www.bbc.co.uk](http://www.bbc.co.uk) (Corporación de Difusión Británica)  
GIEFER A.; "Digital Radio Mondiale: Finding the right transmission mode for tropical broadcasting"; 2002.  
STTOT J.H.; "Digital Radio Mondiale: DRM digital radio on long, medium and short waves – another radio revolution?"; 2005.  
MURPHY A., HAFFENDEN O., ELLIOT J.; "Digital Radio Mondiale: Transmission infrastructure and synchronised networks"; 2004.
- [www.iec.ch](http://www.iec.ch) (Comisión Internacional de Electrónica)  
IEC 62272-1 International Standard: Digital Radio Mondiale (DRM) – Part 1: System specification; 2003.
- [ieeexplore.ieee.org](http://ieeexplore.ieee.org)  
FALLER C., JUANG B., KROON P., LOU H., RAMPRASHAD S., y SUNDBERG C.; "Technical advances in digital audio radio broadcasting"; 2002.
- [w3.iec.csic.es/URSI](http://w3.iec.csic.es/URSI) (Unión Internacional de Radio de España)  
GUERRA D., PRIETO G., PICHEL I., LANDA I.; "Análisis de las emisiones piloto del nuevo sistema de radio digital DRM".
- [www.vocesnuestras.org](http://www.vocesnuestras.org) (Centro de comunicación)  
GONZÁLEZ Francisco; "Informe de consultaría sobre el marco técnico de la radiodifusión en costa rica comparado a la normativa recomendada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones"; 2005.

- [www.digitalradioaustralia.com.au](http://www.digitalradioaustralia.com.au) (Radiodifusión digital de Australia)  
Commercial Radio Australia response to Digital Radio Study Group; 2005.
- [www.dcita.gov.au](http://www.dcita.gov.au) (Departamento de Comunicaciones, Información Tecnológica y Artes del Gobierno Australiano)  
Digital Radio Study Group Report; 2004.  
ABA Digital Radio Technology Update; 2003.
- [www.aba.gov.au](http://www.aba.gov.au) (Autoridad de Radiodifusión Australiana)
- [www.anatel.gov.br](http://www.anatel.gov.br) (Agencia Nacional de Telecomunicaciones de Brasil)
- [www.ahciet.net](http://www.ahciet.net) (Asociación Hispanoamericana de Centros de Investigación y Empresas de Telecomunicaciones)
- [www.conatel.gov.ve](http://www.conatel.gov.ve) (Comisión Nacional de Telecomunicaciones de Venezuela)
- [www.citel.oas.org](http://www.citel.oas.org) (Comisión Interamericana de Telecomunicaciones)
- [www.mityc.es/telecomunicaciones](http://www.mityc.es/telecomunicaciones) (Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información de España)
- [www.cft.gob.mx](http://www.cft.gob.mx) (Comisión Federal de Telecomunicaciones de México)
- [www.cirt.com.mx](http://www.cirt.com.mx) (Cámara Nacional de la Industria de Radio y Televisión de México)
- [www.cnc.gov.ar](http://www.cnc.gov.ar) (Comisión Nacional de Comunicaciones de Argentina)
- [www.subtel.cl](http://www.subtel.cl) (Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile)
- [www.crt.gov.co](http://www.crt.gov.co) (Comisión de Regulación de Telecomunicaciones de Colombia)

# ANEXOS

## ANEXO 1

### 1.1 GENERACIÓN DE SUBTRAMA

El procedimiento básico para un canal lógico dado es como sigue:

1. Determinar la estructura apropiada de generación de subtrama, incluyendo el orden de bit para un canal lógico, desde la figura 1.1 hasta la figura 1.3, dependiendo del modo de servicio.
2. Acumular el número indicado de tramas (de las tablas 1.1 y 1.2).
3. Para el índice  $n = 0 \dots N-1$ , donde  $N$  representa el número total de bits entrantes, calcular la operación de modulo indicada y asignar el bit de entrada indexado a la apropiada subtrama en el correcto orden como se muestra en las figuras 1.1 hasta 1.3. Las subtramas se llenan secuencialmente empezando con el índice 0. Note que los índices de bit cambian desde la operación de lectura hasta la operación de llenado de subtrama.
4. Repita los pasos 1 a 3 para cada canal lógico activo.

Trama de transferencia	Tamaño de la trama de transferencia de entrada (bits)	Tasa de la trama de transferencia de entrada (Hz)	Matrices de entrelazado de destino	Tramas de transferencia por matriz de entrelazado
$P1_G$	9000	Rb	$\underline{PU}, \underline{PL}$	8
$P3_G$	36000	Rf	$\underline{S}, \underline{T}$	1
$PIDS_G$	240	Rb	$\underline{PIDS}$	1

**Tabla 1.1: Características de la trama de transferencia – Modo de servicio MA1**

Trama de transferencia	Tamaño de la trama de transferencia de entrada (bits)	Tasa de la trama de transferencia de entrada (Hz)	Matrices de entrelazado de destino	Tramas de transferencia por matriz de entrelazado
$P1_G$	9000	Rb	$\underline{PU}, \underline{PL}$	8
$P3_G$	72000	Rf	$\underline{S}, \underline{T}$	1
$PIDS_G$	240	Rb	$\underline{PIDS}$	1

**Tabla 1.2: Características de la trama de transferencia – Modo de servicio MA3**

Dependiendo del modo de servicio, algunas subtramas podrían ser retardadas antes que entren al mapeo de bit. Observe, por ejemplo, las subtramas  $\underline{BL}$  y  $\underline{BU}$  en el modo MA1 (figura 1.2).

## 1.2 MATRICES DE ENTRELAZADO

### 1.2.1 Matrices de entrelazado PU, PL, S, y T

Para estas matrices el entrelazado dentro de cada bloque es ejecutado usando la siguiente expresión para los índices de fila y columna, donde el índice k corresponde a uno de los 750 elementos dentro de un bloque de entrelazado:

$$\text{Fila (k)} = [11 \cdot [(9 \cdot k) \text{ MOD } 25] + 16 \cdot \text{INT}(k/25) + 11 \cdot \text{INT}(k/50)] \text{ MOD } 32$$

$$\text{Columna (k)} = (9 \cdot k) \text{ MOD } 25$$

para  $k = 0, \dots, 749$

De un total de 800 (32x25) elementos en un bloque de entrelazado, los 50 elementos restantes son usados para transmitir un patrón de *entrenamiento*. La fila y la columna para el patrón de entrenamiento son indexadas usando las mismas ecuaciones anteriores, siendo k desde 750 hasta 799. Los bits del patrón de entrenamiento para cada modo de servicio están dados en la tabla 1.3.

Modo de servicio	Matriz de entrelazado				
	<u>PU</u>	<u>PL</u>	<u>S</u>	<u>T</u>	<u>PIDS</u>
MA1	100101	100101	1001	10	1001
MA3	100101	100101	100101	100101	1001

**Tabla 1.3: Patrones de bit de entrenamiento**

### 1.2.2 Matriz de entrelazado PIDS

La matriz de entrelazado PIDS está construida de la misma manera sin importar el modo de servicio. El entrelazado de cada bloque es ejecutado usando las siguientes expresiones para los índices de fila:

$$\text{Fila (k)} = [11 \cdot (k + \text{INT}(k/15)) + 3] \text{ MOD } 32$$

para  $k = 0, \dots, 29$

El índice k corresponde a uno de los 30 elementos de un bloque entrelazador. De un total de 32 elementos, los 2 elementos restantes son usados para transmitir un

patrón de entrenamiento. Las filas para el patrón de entrenamiento son indexadas usando la misma ecuación anterior, siendo  $k$  desde 30 hasta 31. Los bits del patrón de entrenamiento se muestran en la tabla 1.3.

### 1.3 MAPEO DE BIT

Desde la figura 1.1 hasta la figura 1.3 se muestra cómo los canales lógicos son divididos en subtramas, retardados y mapeados en matrices de entrelazado. También se muestra cómo generar el número de bloque  $b$  que determina el bloque entrelazador dentro de una matriz, el índice  $k$  que determina la fila y la columna en un bloque, y el índice  $p$  que determina la posición de bit dentro del elemento del bloque para cada canal lógico en cada modo de servicio. El proceso de mapeo de bit es como sigue:

1. Para un vector de subtrama en un modo de servicio dado, seleccionar las ecuaciones de mapeo de bit apropiadas desde la figura 1.1 hasta la figura 1.3.
2. Para  $n = 0, \dots, L-1$ , donde  $L$  representa la longitud del vector de subtrama, calcular los parámetros  $b$ ,  $k$ , y  $p$ .
3. Calcular los índices de fila y columna para la matriz de entrelazado usando las ecuaciones dadas para la matriz PIDS o para las otras matrices.
4. Transferir el bit de subtrama de índice  $n$  a la posición de la matriz de entrelazado a los índices calculados de fila, columna, bloque y posición.
5. Repita los pasos (1) a (4) para todos los canales lógicos destinados para una matriz de entrelazado particular.
6. Llenar la matriz de entrelazado con los símbolos de entrenamiento apropiados definidos en la tabla 1.3.

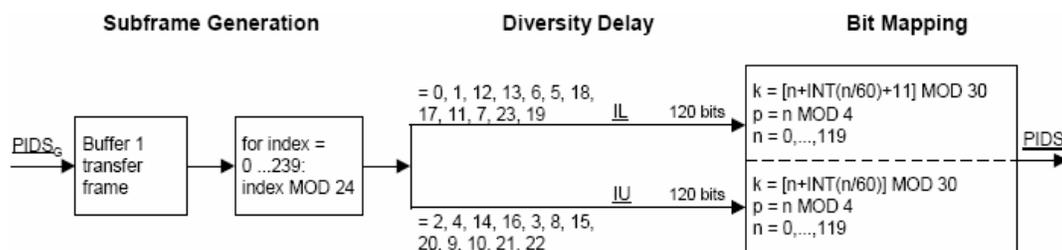


Figura 1.1: Proceso de entrelazado PIDS – Todos los modos de servicio

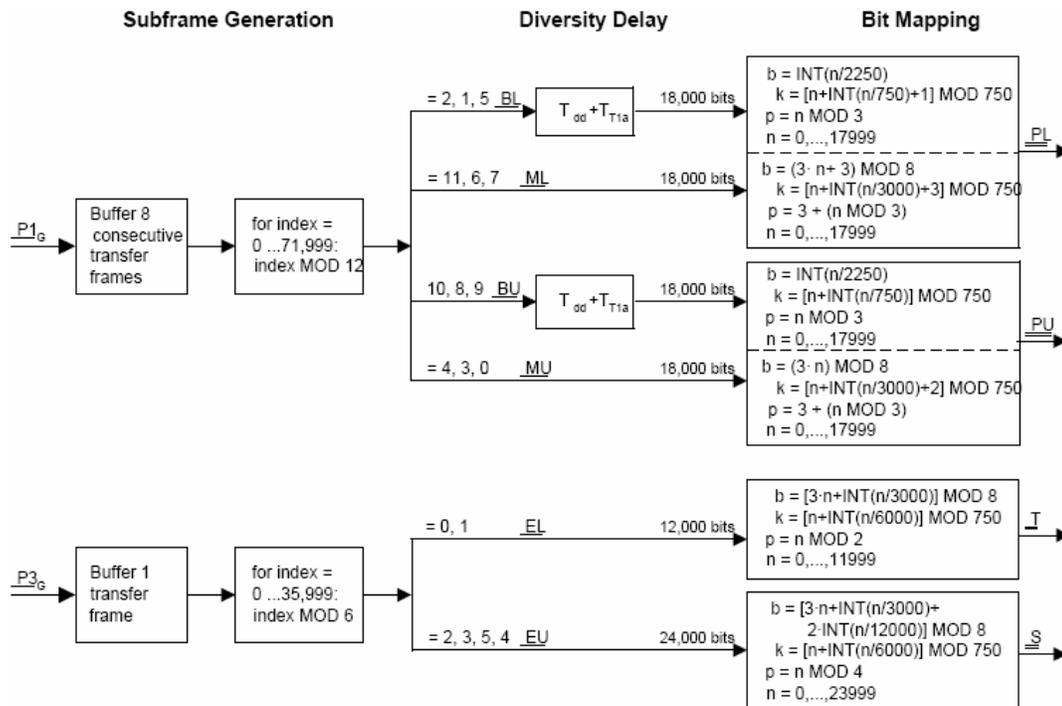


Figura 1.2: Entrelazado – Modo de servicio MA1

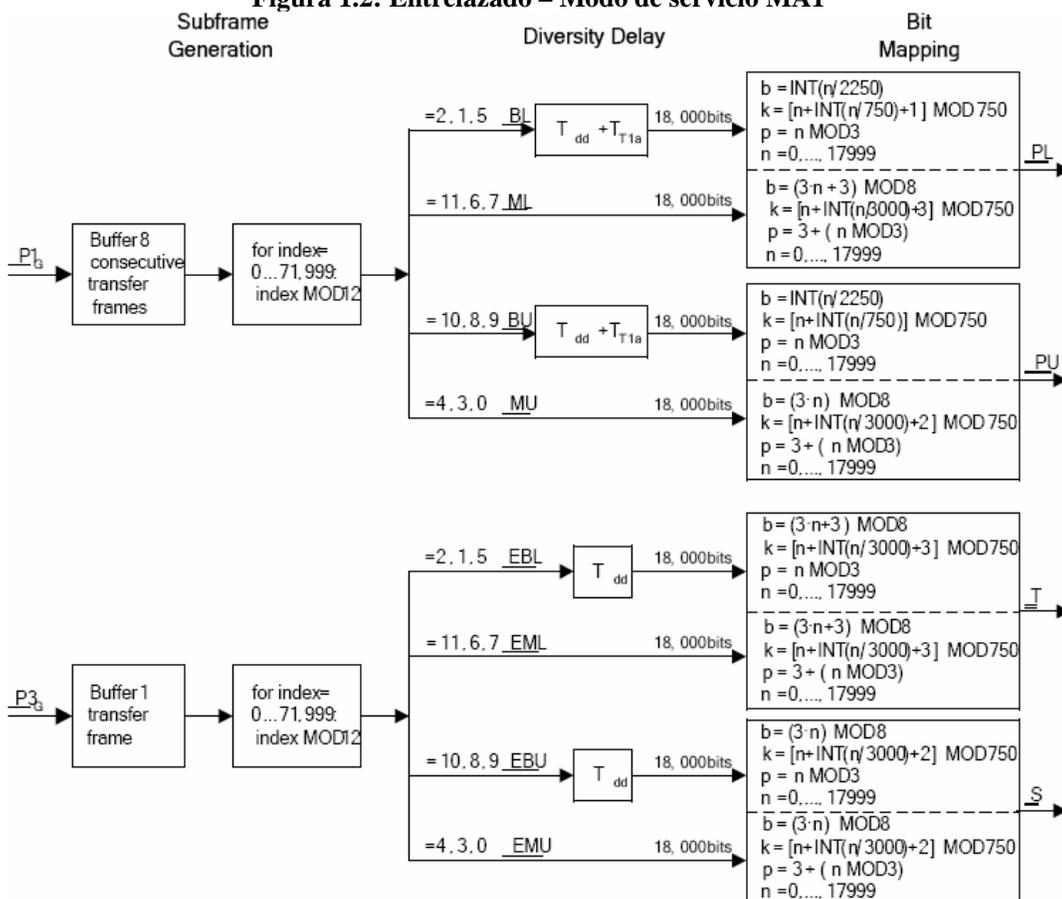


Figura 1.3: Entrelazado – Modo de servicio MA3

## ANEXO 2

### 2.1 PROCEDIMIENTO DEL MAPEO DE SUBPORTADORA OFDM

Los detalles de cómo los elementos de cada matriz de entrelazado son mapeados a valores de constelación complejos se describen a continuación.

#### 2.1.1 Subportadoras primarias

Las matrices de entrelazado primarias de dimensión  $256 \times 256$  ( $\underline{PU}$  y  $\underline{PL}$ ), son mapeadas a constelaciones 64-QAM. Los elementos de estas matrices son palabras de seis bits. Para mapear cada elemento de una matriz a una localidad de subportadora del vector  $\underline{X}$ , se debe seguir los siguientes pasos:

1. Leer una palabra de 6 bits desde un elemento de una matriz de entrelazado.
2. Mapear la palabra de 6 bits del paso 1 a un valor de constelación complejo usando la tabla 2.1.
3. Escalar los componentes I y Q del valor de constelación complejo del paso 2 usando el factor de escala de amplitud apropiado de la tabla 2.11.
4. Mapear el valor de constelación escalado del paso 3 al elemento apropiado de  $\underline{X}$  usando la tabla 2.2 o la tabla 2.3.

Existe un mapeo uno a uno desde las columnas de la matriz de entrelazado primaria a las subportadoras OFDM. En las señales híbrida y digital, el mapeo de las bandas laterales primarias se muestra en la tabla 2.2 y en la tabla 2.3. En cada caso, el mapeo comienza con el índice de subportadora con el valor absoluto más bajo y continúa con el índice de subportadora con el valor absoluto más alto. Adicionalmente, los valores de constelación de las bandas laterales inferiores son conjugadas complejas negativas. Esto se indica en la tabla 2.2 y en la tabla 2.3 por un signo menos y un asterisco agregados a la designación de la matriz de entrelazado, ej.  $-\underline{PL}_S^*$ .

Palabra de 6 bits x5x4x3x2x1x0	Hex	Valor de constelación	Palabra de 6 bits x5x4x3x2x1x0	Hex	Valor de constelación
000000	0	-3.5 - j3.5	100000	20	-3.5 - j2.5
000001	1	3.5 - j3.5	100001	21	3.5 - j2.5
000010	2	-0.5 - j3.5	100010	22	-0.5 - j2.5
000011	3	0.5 - j3.5	100011	23	0.5 - j2.5
000100	4	-2.5 - j3.5	100100	24	-2.5 - j2.5
000101	5	2.5 - j3.5	100101	25	2.5 - j2.5
000110	6	-1.5 - j3.5	100110	26	-1.5 - j2.5
000111	7	1.5 - j3.5	100111	27	1.5 - j2.5
001000	8	-3.5 + j3.5	101000	28	-3.5 + j2.5
001001	9	3.5 + j3.5	101001	29	3.5 + j2.5
001010	A	-0.5 + j3.5	101010	2A	-0.5 + j2.5
001011	B	0.5 + j3.5	101011	2B	0.5 + j2.5
001100	C	-2.5 + j3.5	101100	2C	-2.5 + j2.5
001101	D	2.5 + j3.5	101101	2D	2.5 + j2.5
001110	E	-1.5 + j3.5	101110	2E	-1.5 + j2.5
001111	F	1.5 + j3.5	101111	2F	1.5 + j2.5
010000	10	-3.5 - j0.5	110000	30	-3.5 - j1.5
010001	11	3.5 - j0.5	110001	31	3.5 - j1.5
010010	12	-0.5 - j0.5	110010	32	-0.5 - j1.5
010011	13	0.5 - j0.5	110011	33	0.5 - j1.5
010100	14	-2.5 - j0.5	110100	34	-2.5 - j1.5
010101	15	2.5 - j0.5	110101	35	2.5 - j1.5
010110	16	-1.5 - j0.5	110110	36	-1.5 - j1.5
010111	17	1.5 - j0.5	110111	37	1.5 - j1.5
011000	18	-3.5 + j0.5	111000	38	-3.5 + j1.5
011001	19	3.5 + j0.5	111001	39	3.5 + j1.5
011010	1A	-0.5 + j0.5	111010	3A	-0.5 + j1.5
011011	1B	0.5 + j0.5	111011	3B	0.5 + j1.5
011100	1C	-2.5 + j0.5	111100	3C	-2.5 + j1.5
011101	1D	2.5 + j0.5	111101	3D	2.5 + j1.5
011110	1E	-1.5 + j0.5	111110	3E	-1.5 + j1.5
011111	1F	1.5 + j0.5	111111	3F	1.5 + j1.5

Tabla 2.1: Mapeo de constelación 64-QAM

Modo	Número inicial de subportadora	Número final de subportadora	Matriz de entrelazado	Número de columna inicial de la matriz	Número de columna final de la matriz
MA1	-57	-81	$-\underline{P}_{L_s}^*$	0	24
MA1	57	81	$\underline{P}_{U_s}$	0	24

Tabla 2.2: Mapeo de subportadora de entrelazado primario – Señal híbrida

Modo	Número inicial de subportadora	Número final de subportadora	Matriz de entrelazado	Número de columna inicial de la matriz	Número de columna final de la matriz
MA3	-2	-26	$-\underline{P}_{L_s}^*$	0	24
MA3	2	26	$\underline{P}_{U_s}$	0	24

Tabla 2.3: Mapeo de subportadora de entrelazado primario – Señal digital

## 2.1.2 Subportadoras secundarias y terciarias

En las señales híbrida y digital,  $\underline{S}$  mapea a la banda lateral secundaria y  $\underline{I}$  mapea a la banda lateral terciaria. Sin embargo, en la señal híbrida no existe un mapeo uno a uno y son empleados diferentes tipos de modulación. Por estas razones las señales híbrida y digital son tratadas separadamente.

### 2.1.2.1 Señal híbrida

Las matrices de entrelazado secundaria y  $\underline{PIDS}$  son mapeadas a constelaciones 16-QAM, mientras que la matriz de entrelazado terciaria es mapeada a constelaciones QPSK.  $\underline{S}$  y  $\underline{I}$  tienen dimensiones de 256x25 y cada elemento de  $\underline{S}$  contiene una palabra de cuatro bits mientras que los elementos de  $\underline{I}$  contienen palabras de 2 bits. La matriz  $\underline{PIDS}_S$  tiene dimensiones de 32x2 y consiste de palabras de cuatro bits.

Para mapear cada palabra de cuatro bits, o de dos bits, de una matriz de entrelazado a una localidad de subportadora del vector  $\underline{X}$ , se debe seguir los siguientes pasos:

1. Leer una palabra de cuatro bits, o de dos bits, desde una columna de una matriz de entrelazado.
2. Mapear la palabra del paso 1 a un valor de constelación, usando la tabla 2.4 para las palabras de dos bits y la tabla 2.5 para las palabras de cuatro bits.
3. Escalar los componentes I y Q del valor de constelación complejo del paso 2, usando el factor de escala apropiado de la tabla 2.11. Donde más de un factor de escala es indicado, la selección está determinada por PL, introducido desde el Administrador de Configuración por medio del SCCH.
4. Mapear el valor de constelación escalado del paso 3 al elemento apropiado de  $\underline{X}$  usando la tabla 2.6 o la tabla 2.7.

El procedimiento para mapear los valores de constelación de los elementos de  $\underline{S}_S$  y  $\underline{I}_S$  a las bandas laterales secundarias y terciarias para la señal híbrida es como

sigue. Primero, mapear los elementos de  $\underline{S}_s$  sobre la banda lateral superior secundaria, empezando con el índice de subportadora más bajo y continuando hasta que todas las columnas de  $\underline{S}_s$  en la fila de interés sean mapeadas. Luego, mapear los elementos de  $-\underline{S}_s^*$  sobre la banda lateral secundaria inferior, empezando con el índice de subportadora con el valor absoluto más bajo y continuando hasta que todas las columnas de  $\underline{S}_s$  en la fila de interés sean mapeadas. Repita este proceso para  $\underline{T}_s$ .

Palabra de dos bits x1x0	Hex	Valor de constelación
00	0	-0.5 - j0.5
01	1	0.5 - j0.5
10	2	-0.5 + j0.5
11	3	0.5 + j0.5

Tabla 2.4: Mapeo de constelación QPSK

Palabra de 4 bits x3x2x1x0	Hex	Valor de constelación
0000	0	-1.5 - j1.5
0001	1	1.5 - j1.5
0010	2	-0.5 - j1.5
0011	3	0.5 - j1.5
0100	4	-1.5 + j1.5
0101	5	1.5 + j1.5
0110	6	-0.5 + j1.5
0111	7	0.5 + j1.5
1000	8	-1.5 - j0.5
1001	9	1.5 - j0.5
1010	A	-0.5 - j0.5
1011	B	0.5 - j0.5
1100	C	-1.5 + j0.5
1101	D	1.5 + j0.5
1110	E	-0.5 + j0.5
1111	F	0.5 + j0.5

Tabla 2.5: Mapeo de constelación 16-QAM

Número inicial de subportadora	Número final de subportadora	Matriz de entrelazado	Número de columna inicial de la matriz	Número de columna final de la matriz
2	26	$\underline{T}_s$	0	24
28	52	$\underline{S}_s$	0	24
-2	-26	$-\underline{T}_s^*$	0	24
-28	-52	$-\underline{S}_s^*$	0	24

Tabla 2.6: Mapeo de subportadora de entrelazado secundario y terciario – Señal híbrida

Número de subportadora	Matriz de entrelazado	Número de columna de la matriz de entrelazado
-27	$-\underline{PIDS}_S^*$	0
-53	$-\underline{PIDS}_S^*$	1
27	$\underline{PIDS}_S$	0
53	$\underline{PIDS}_S$	1

Tabla 2.7: Mapeo de subportadora de entrelazado  $\underline{PIDS}$  – Señal híbrida

### 2.1.2.2 Señal digital

En la señal digital, las matrices de entrelazado secundaria y terciaria son mapeadas a constelaciones 64-QAM, mientras que la matriz de entrelazado  $\underline{PIDS}$  es mapeada a constelaciones 16-QAM.  $\underline{S}$  y  $\underline{T}$  tienen dimensiones de 256x25 y cada elemento contiene una palabra de seis bits. La matriz  $\underline{PIDS}$  tiene elementos que consisten de palabras de cuatro bits y una dimensión de 32x2.

Para mapear cada palabra de seis o cuatro bits de una matriz a una localidad de subportadora del vector  $\underline{X}$ , se debe seguir los siguientes pasos:

1. Leer una palabra de seis o cuatro bits de una columna de una matriz.
2. Mapear las palabras del paso 1 a un valor de constelación complejo, usando la tabla 2.1 para palabras de seis bits y la tabla 2.5 para palabras de cuatro bits.
3. Escalar los componentes I y Q del valor de constelación complejo del paso 2, usando el factor de escala de amplitud apropiado de la tabla 2.11.
4. Mapear los valores de constelación escalados del paso 3 al elemento apropiado de  $\underline{X}$  usando la tabla 2.8 o la tabla 2.9.

Existe un mapeo uno a uno desde las columnas de la matriz secundaria, terciaria y  $\underline{PIDS}$  a las subportadoras OFDM. El mapeo para  $\underline{S}_S$  y  $\underline{T}_S$  comienza con el índice de subportadora con el valor absoluto más bajo y continúa con la subportadora con el valor absoluto más alto.

Número inicial de subportadora	Número final de subportadora	Matriz de entrelazado	Número de columna inicial de la matriz	Número de columna final de la matriz
-28	-52	$-\underline{T}_S^*$	0	24
28	52	$\underline{S}_S$	0	24

Tabla 2.8: Mapeo de subportadora de entrelazado secundaria y terciaria – Señal digital

Número de subportadora	Matriz de entrelazado	Número de columna de la matriz de entrelazado
-27	$-\underline{PIDS}_S^*$	0
27	$\underline{PIDS}_S$	1

Tabla 2.9: Mapeo de subportadora de entrelazado  $\underline{PIDS}$  – Señal digital

### 2.1.3 Subportadoras de referencia

El vector  $\underline{R}$  consiste de 256 bits (esto es, un único bit por cada símbolo OFDM en una trama). Los bits del vector  $\underline{R}$  son mapeados a puntos de constelación BPSK.

Para mapear cada bit del vector  $\underline{R}$  a una localidad de subportadora del vector  $\underline{X}$ , se debe seguir los siguientes pasos:

1. Leer un bit del vector  $\underline{R}$ .
2. Mapear el bit del paso 1 a un valor de constelación usando la tabla 2.10.
3. Escalar los componentes I y Q del valor de constelación complejo del paso 2 usando el factor de escala apropiado de la tabla 2.11.
4. Mapear el valor de constelación escalado del paso 3 a los elementos apropiados de  $\underline{X}$  usando la tabla 2.12.

Valor de Bit n	Punto de constelación n
0	$0 - j0.5$
1	$0 + j0.5$

Tabla 2.10: Mapeo de constelación de señal BPSK

Matriz de entrelazado	Señal	
	Híbrida	Digital
$\underline{PU}_C$	$CH_P$	$CD_P$
$\underline{PL}_C$	$CH_P$	$CD_P$
$\underline{S}_C$	$CH_{S1}$ o $CH_{S2}$	$CD_E$
$\underline{T}_C$	$CH_{T1}[25]$ o $CH_{T2}[25]$	$CD_E$
$\underline{PIDS}_C$	$CH_{I1}$ o $CH_{I2}$	$CD_I$
$\underline{R}_C$	$CH_B$	$CD_B$

Tabla 2.11: Factores de escala de constelación de señal

Número de subportadora	Vector de la secuencia de datos del control de sistema	Número de columna Vector de entrelazado
-1	$-\underline{R}_S^*$	0
1	$\underline{R}_S$	0

Tabla 2.12: Mapeo de subportadora  $\underline{R}$  – Señales híbrida y digital

## ANEXO 3

### 3.1 MODULACIÓN JERÁRQUICA

Los sistemas basados en modulación jerárquica son aquellos que permiten la transmisión de dos flujos diferentes de datos (alta prioridad y baja prioridad) en un único flujo de un solo canal, con el objeto dar mayor protección a una parte de la información. El sistema DRM define tres tipos de mapeos de la información:

1. **SM:** Mapeo estándar. (Standard Mapping)
2. **HMsym:** Mapeo Jerárquico Simétrico. (Symmetrical Hierarchical mapping).
3. **HMmix:** Mapeo Jerárquico Híbrido. (Mixed Hierarchical mapping)

El mapeo SM consiste de definir tan solo una parte más protegida (denominada  $L_1$ ) y una parte menos protegida (denominada  $L_2$ ), dentro de una trama multiplex.

El mapeo HMsym define una parte más protegida  $L_1$ , y una parte menos protegida  $L_2$ , igual que el mapeo SM, pero también una parte denominada VSSP (Very Strongly Protected Part) representada como  $L_{VSPP}$ , la cual representa un flujo de datos más robustos de alta prioridad.

El mapeo HMmix, al igual que HMsym divide una trama multiplex en tres partes  $L_1$ ,  $L_2$  y  $L_{VSPP}$ . La diferencia principal de éste tipo de mapeo es que en el proceso de particionamiento de información, cada flujo resultante es subdividido en dos sub-flujos que se codifican independientemente, este hecho lo hace ser el mapeo más robusto utilizado en DRM.

Los mapeos HMmix y HMsym son únicamente aplicables al canal de servicio principal MSC además del mapeo SM. Para el caso de los canales FAC y SDC el mapeo SM es el único aplicable.

## ANEXO 4

### 4.1 MATRICES DE PERFORACIÓN

Los códigos convolucionales parten del concepto de recibir cierta cantidad de bits de entrada y con el objeto de añadir más redundancia a la información procesar más bits a la salida del mismo, de ésta primicia inicial se define la tasa del código.

La técnica de perforación es a menudo muy utilizada en conjunto con los códigos convolucionales, con el objeto de lograr mayores tasas de codificación sin añadir demasiada redundancia. Por ejemplo si partimos de una tasa de codificación 1/2 como la que se puede observar en la figura 4.1:

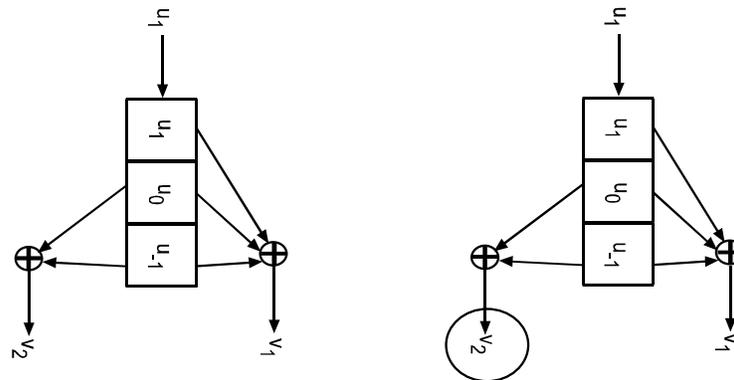


Figura 4.1: Tasa de codificación de 1/2

En la figura se puede ver dos codificadores de tasa 1/2, los cuales reciben un bit en sus entradas y emiten dos bits a la salida, como se puede notar habría cuatro bits en total a la salida, si nosotros elimináramos la emisión del bit  $v_2$  del segundo codificador, el efecto producido sería crear una tasa de 2/3 de una tasa de 1/2, ésta técnica se denomina perforación.

Los codificadores convolucionales de tasas de código 1/2, 1/3, 1/4, etc, se los suele denominar códigos madre y es sobre éste tipo de códigos que se da la técnica de perforación. Para el sistema DRM el código madre tiene una tasa de codificación de 1/4, es decir por cada bit que ingresa al codificador existen 4 bits de salida, luego de ésta codificación se aplica un patrón de perforación, con el fin de emitir una secuencia de bits robusta sin demasiada redundancia. Los patrones para el canal FAC son los siguientes:

Code rates $R_p$	Numerator $RX_p$	Denominator $RY_p$	Puncturing pattern	Transmitted sequence
1/4	1	4	$B_0$ : 1 $B_1$ : 1 $B_2$ : 1 $B_3$ : 1	$b_{0,0}$ $b_{1,0}$ $b_{2,0}$ $b_{3,0}$ etc.
3/10	3	10	$B_0$ : 1 1 1 $B_1$ : 1 1 1 $B_2$ : 1 1 1 $B_3$ : 1 0 0	$b_{0,0}$ $b_{1,0}$ $b_{2,0}$ $b_{3,0}$ $b_{0,1}$ $b_{1,1}$ $b_{2,1}$ $b_{0,2}$ $b_{1,2}$ $b_{2,2}$ etc.
1/3	1	3	$B_0$ : 1 $B_1$ : 1 $B_2$ : 1 $B_3$ : 0	$b_{0,0}$ $b_{1,0}$ $b_{2,0}$ etc.
4/11	4	11	$B_0$ : 1 1 1 1 $B_1$ : 1 1 1 1 $B_2$ : 1 1 1 0 $B_3$ : 0 0 0 0	$b_{0,0}$ $b_{1,0}$ $b_{2,0}$ $b_{0,1}$ $b_{1,1}$ $b_{2,1}$ $b_{0,2}$ $b_{1,2}$ $b_{2,2}$ $b_{0,3}$ $b_{1,3}$ etc.
1/2	1	2	$B_0$ : 1 $B_1$ : 1 $B_2$ : 0 $B_3$ : 0	$b_{0,0}$ $b_{1,0}$ etc.
4/7	4	7	$B_0$ : 1 1 1 1 $B_1$ : 1 0 1 0 $B_2$ : 0 1 0 0 $B_3$ : 0 0 0 0	$b_{0,0}$ $b_{1,0}$ $b_{0,1}$ $b_{2,1}$ $b_{0,2}$ $b_{1,2}$ $b_{0,3}$ etc.
3/5	3	5	$B_0$ : 1 1 1 $B_1$ : 1 0 1 $B_2$ : 0 0 0 $B_3$ : 0 0 0	$b_{0,0}$ $b_{1,0}$ $b_{0,1}$ $b_{0,2}$ $b_{1,2}$ etc.
2/3	2	3	$B_0$ : 1 1 $B_1$ : 1 0 $B_2$ : 0 0 $B_3$ : 0 0	$b_{0,0}$ $b_{1,0}$ $b_{0,1}$ etc.
8/11	8	11	$B_0$ : 1 1 1 1 1 1 1 1 $B_1$ : 1 0 0 1 0 0 1 0 $B_2$ : 0 0 0 0 0 0 0 0 $B_3$ : 0 0 0 0 0 0 0 0	$b_{0,0}$ $b_{1,0}$ $b_{0,1}$ $b_{0,2}$ $b_{0,3}$ $b_{1,3}$ $b_{0,4}$ $b_{0,5}$ $b_{0,6}$ $b_{1,6}$ $b_{0,7}$ etc.
3/4	3	4	$B_0$ : 1 1 1 $B_1$ : 1 0 0 $B_2$ : 0 0 0 $B_3$ : 0 0 0	$b_{0,0}$ $b_{1,0}$ $b_{0,1}$ $b_{0,2}$ etc.
4/5	4	5	$B_0$ : 1 1 1 1 $B_1$ : 1 0 0 0 $B_2$ : 0 0 0 0 $B_3$ : 0 0 0 0	$b_{0,0}$ $b_{1,0}$ $b_{0,1}$ $b_{0,2}$ $b_{0,3}$ $b_{0,4}$ etc.
7/8	7	8	$B_0$ : 1 1 1 1 1 1 1 1 $B_1$ : 1 0 0 0 0 0 0 0 $B_2$ : 0 0 0 0 0 0 0 0 $B_3$ : 0 0 0 0 0 0 0 0	$b_{0,0}$ $b_{1,0}$ $b_{0,1}$ $b_{0,2}$ $b_{0,3}$ $b_{0,4}$ $b_{0,5}$ $b_{0,6}$ etc.
8/9	8	9	$B_0$ : 1 1 1 1 1 1 1 1 $B_1$ : 1 0 0 0 0 0 0 0 $B_2$ : 0 0 0 0 0 0 0 0 $B_3$ : 0 0 0 0 0 0 0 0	$b_{0,0}$ $b_{1,0}$ $b_{0,1}$ $b_{0,2}$ $b_{0,3}$ $b_{0,4}$ $b_{0,5}$ $b_{0,6}$ $b_{0,7}$ etc.

En las tablas anteriores los patrones de perforación se componen de 1s y 0s, los valores uno indican que el bit se emite, los valores cero indican que el bit se omite, el orden de las secuencias finales se definen por columnas desde el primer elemento de la primera columna hasta el último elemento de la última columna.

En el caso de los canales MSC y SDC los últimos 24 bits se codifican con patrones de perforación diferentes a los de las tablas antes expuestas, dependiendo del índice  $r_p$ , que depende básicamente de las tasas de codificación que se usen, a continuación se presentan dichas tablas:

$r_p$	Puncturing pattern	Transmitted sequence
0	B <sub>0</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>1</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>2</sub> : 0 0 0 0 0 0 B <sub>3</sub> : 0 0 0 0 0 0	b <sub>0,0</sub> b <sub>1,0</sub> b <sub>0,1</sub> b <sub>1,1</sub> b <sub>0,2</sub> b <sub>1,2</sub> b <sub>0,3</sub> b <sub>1,3</sub> b <sub>0,4</sub> b <sub>1,4</sub> b <sub>0,5</sub> b <sub>1,5</sub> etc.
1	B <sub>0</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>1</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>2</sub> : 1 0 0 0 0 0 B <sub>3</sub> : 0 0 0 0 0 0	b <sub>0,0</sub> b <sub>1,0</sub> b <sub>2,0</sub> b <sub>0,1</sub> b <sub>1,1</sub> b <sub>0,2</sub> b <sub>1,2</sub> b <sub>0,3</sub> b <sub>1,3</sub> b <sub>0,4</sub> b <sub>1,4</sub> b <sub>0,5</sub> b <sub>1,5</sub> etc.
2	B <sub>0</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>1</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>2</sub> : 1 0 0 1 0 0 B <sub>3</sub> : 0 0 0 0 0 0	b <sub>0,0</sub> b <sub>1,0</sub> b <sub>2,0</sub> b <sub>0,1</sub> b <sub>1,1</sub> b <sub>0,2</sub> b <sub>1,2</sub> b <sub>0,3</sub> b <sub>1,3</sub> b <sub>2,3</sub> b <sub>0,4</sub> b <sub>1,4</sub> b <sub>0,5</sub> b <sub>1,5</sub> etc.
3	B <sub>0</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>1</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>2</sub> : 1 1 0 1 0 0 B <sub>3</sub> : 0 0 0 0 0 0	b <sub>0,0</sub> b <sub>1,0</sub> b <sub>2,0</sub> b <sub>0,1</sub> b <sub>1,1</sub> b <sub>2,1</sub> b <sub>0,2</sub> b <sub>1,2</sub> b <sub>0,3</sub> b <sub>1,3</sub> b <sub>2,3</sub> b <sub>0,4</sub> b <sub>1,4</sub> b <sub>0,5</sub> b <sub>1,5</sub> etc.
4	B <sub>0</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>1</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>2</sub> : 1 1 0 1 1 0 B <sub>3</sub> : 0 0 0 0 0 0	b <sub>0,0</sub> b <sub>1,0</sub> b <sub>2,0</sub> b <sub>0,1</sub> b <sub>1,1</sub> b <sub>2,1</sub> b <sub>0,2</sub> b <sub>1,2</sub> b <sub>0,3</sub> b <sub>1,3</sub> b <sub>2,3</sub> b <sub>0,4</sub> b <sub>1,4</sub> b <sub>2,4</sub> b <sub>0,5</sub> b <sub>1,5</sub> etc.
5	B <sub>0</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>1</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>2</sub> : 1 1 1 1 1 0 B <sub>3</sub> : 0 0 0 0 0 0	b <sub>0,0</sub> b <sub>1,0</sub> b <sub>2,0</sub> b <sub>0,1</sub> b <sub>1,1</sub> b <sub>2,1</sub> b <sub>0,2</sub> b <sub>1,2</sub> b <sub>2,2</sub> b <sub>0,3</sub> b <sub>1,3</sub> b <sub>2,3</sub> b <sub>0,4</sub> b <sub>1,4</sub> b <sub>2,4</sub> b <sub>0,5</sub> b <sub>1,5</sub> etc.
6	B <sub>0</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>1</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>2</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>3</sub> : 0 0 0 0 0 0	b <sub>0,0</sub> b <sub>1,0</sub> b <sub>2,0</sub> b <sub>0,1</sub> b <sub>1,1</sub> b <sub>2,1</sub> b <sub>0,2</sub> b <sub>1,2</sub> b <sub>2,2</sub> b <sub>0,3</sub> b <sub>1,3</sub> b <sub>2,3</sub> b <sub>0,4</sub> b <sub>1,4</sub> b <sub>2,4</sub> b <sub>0,5</sub> b <sub>1,5</sub> b <sub>2,5</sub> etc.
7	B <sub>0</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>1</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>2</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>3</sub> : 1 0 0 0 0 0	b <sub>0,0</sub> b <sub>1,0</sub> b <sub>2,0</sub> b <sub>3,0</sub> b <sub>0,1</sub> b <sub>1,1</sub> b <sub>2,1</sub> b <sub>0,2</sub> b <sub>1,2</sub> b <sub>2,2</sub> b <sub>0,3</sub> b <sub>1,3</sub> b <sub>2,3</sub> b <sub>0,4</sub> b <sub>1,4</sub> b <sub>2,4</sub> b <sub>0,5</sub> b <sub>1,5</sub> b <sub>2,5</sub> etc.
8	B <sub>0</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>1</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>2</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>3</sub> : 1 0 0 1 0 0	b <sub>0,0</sub> b <sub>1,0</sub> b <sub>2,0</sub> b <sub>3,0</sub> b <sub>0,1</sub> b <sub>1,1</sub> b <sub>2,1</sub> b <sub>0,2</sub> b <sub>1,2</sub> b <sub>2,2</sub> b <sub>0,3</sub> b <sub>1,3</sub> b <sub>2,3</sub> b <sub>3,3</sub> b <sub>0,4</sub> b <sub>1,4</sub> b <sub>2,4</sub> b <sub>0,5</sub> b <sub>1,5</sub> b <sub>2,5</sub> etc.
9	B <sub>0</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>1</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>2</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>3</sub> : 1 1 0 1 0 0	b <sub>0,0</sub> b <sub>1,0</sub> b <sub>2,0</sub> b <sub>3,0</sub> b <sub>0,1</sub> b <sub>1,1</sub> b <sub>2,1</sub> b <sub>3,1</sub> b <sub>0,2</sub> b <sub>1,2</sub> b <sub>2,2</sub> b <sub>0,3</sub> b <sub>1,3</sub> b <sub>2,3</sub> b <sub>3,3</sub> b <sub>0,4</sub> b <sub>1,4</sub> b <sub>2,4</sub> b <sub>0,5</sub> b <sub>1,5</sub> b <sub>2,5</sub> etc.
10	B <sub>0</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>1</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>2</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>3</sub> : 1 1 0 1 0 1	b <sub>0,0</sub> b <sub>1,0</sub> b <sub>2,0</sub> b <sub>3,0</sub> b <sub>0,1</sub> b <sub>1,1</sub> b <sub>2,1</sub> b <sub>3,1</sub> b <sub>0,2</sub> b <sub>1,2</sub> b <sub>2,2</sub> b <sub>0,3</sub> b <sub>1,3</sub> b <sub>2,3</sub> b <sub>3,3</sub> b <sub>0,4</sub> b <sub>1,4</sub> b <sub>2,4</sub> b <sub>0,5</sub> b <sub>1,5</sub> b <sub>2,5</sub> b <sub>3,5</sub> etc.
11	B <sub>0</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>1</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>2</sub> : 1 1 1 1 1 1 B <sub>3</sub> : 1 1 1 1 0 1	b <sub>0,0</sub> b <sub>1,0</sub> b <sub>2,0</sub> b <sub>3,0</sub> b <sub>0,1</sub> b <sub>1,1</sub> b <sub>2,1</sub> b <sub>3,1</sub> b <sub>0,2</sub> b <sub>1,2</sub> b <sub>2,2</sub> b <sub>3,2</sub> b <sub>0,3</sub> b <sub>1,3</sub> b <sub>2,3</sub> b <sub>3,3</sub> b <sub>0,4</sub> b <sub>1,4</sub> b <sub>2,4</sub> b <sub>0,5</sub> b <sub>1,5</sub> b <sub>2,5</sub> b <sub>3,5</sub> etc.

El cálculo del factor  $r_p$ , se define con la siguiente fórmula:

$$r_p = (2N_2 - 12) - RY_p \left\lfloor \frac{2N_2 - 12}{RY_p} \right\rfloor \text{ for } p \in \{0,1,2\}$$

Donde  $N_2$  es el número de celdas OFDM asignadas para la parte menos protegida y  $p$  es el número de bits por cada nivel de codificación.

## ANEXO 5

### 5.1 ENTRELAZADO DE BITS

El entrelazado de bits define un orden especial de emisión de las secuencias de bits, con el objeto de hacer más robusta a la señal para efectos de transmisión. Básicamente el entrelazado se basa en funciones de permutación, las cuales se las puede observar en las siguientes fórmulas:

Primeramente se definen ciertos parámetros de acuerdo a las constelaciones que se vayan a utilizar, y el número de bits de entrada.

$$\text{for 64-QAM: } t_1 = 13, t_2 = 21$$

$$\text{for 16-QAM: } t_0 = 13, t_1 = 21$$

$$\text{for 4-QAM: } t_0 = 21$$

$$p \in \{0,1,2\}$$

$$s = 2^{\lceil \log_2(x_{in}) \rceil}$$

$$q = s / 4 - 1$$

La función de permutación se define como:

$$\Pi_p(0) = 0;$$

$$\text{for } i = 1, 2, \dots, x_{in} - 1:$$

$$\Pi_p(i) = (t_p \Pi_p(i-1) + q) \pmod{s};$$

$$\text{while } \Pi_p(i) \geq x_{in}:$$

$$\Pi_p(i) = (t_p \Pi_p(i) + q) \pmod{s}.$$

Como vemos la función ordena todos los bits de la secuencia de  $X_{in}$  bits que ingresan al entrelazador.

## ANEXO 6

### 6.1 CONSTELACIONES QAM

Como se mencionó en el capítulo 2, el sistema DRM define tres constelaciones para modular los datos de las subportadoras, éstas constelaciones (64, 16 y 4-QAM), definen puntos de amplitud y fase determinados, correspondientes aun patrón de bits único. A continuación se presentan las constelaciones disponibles para el sistema DRM.

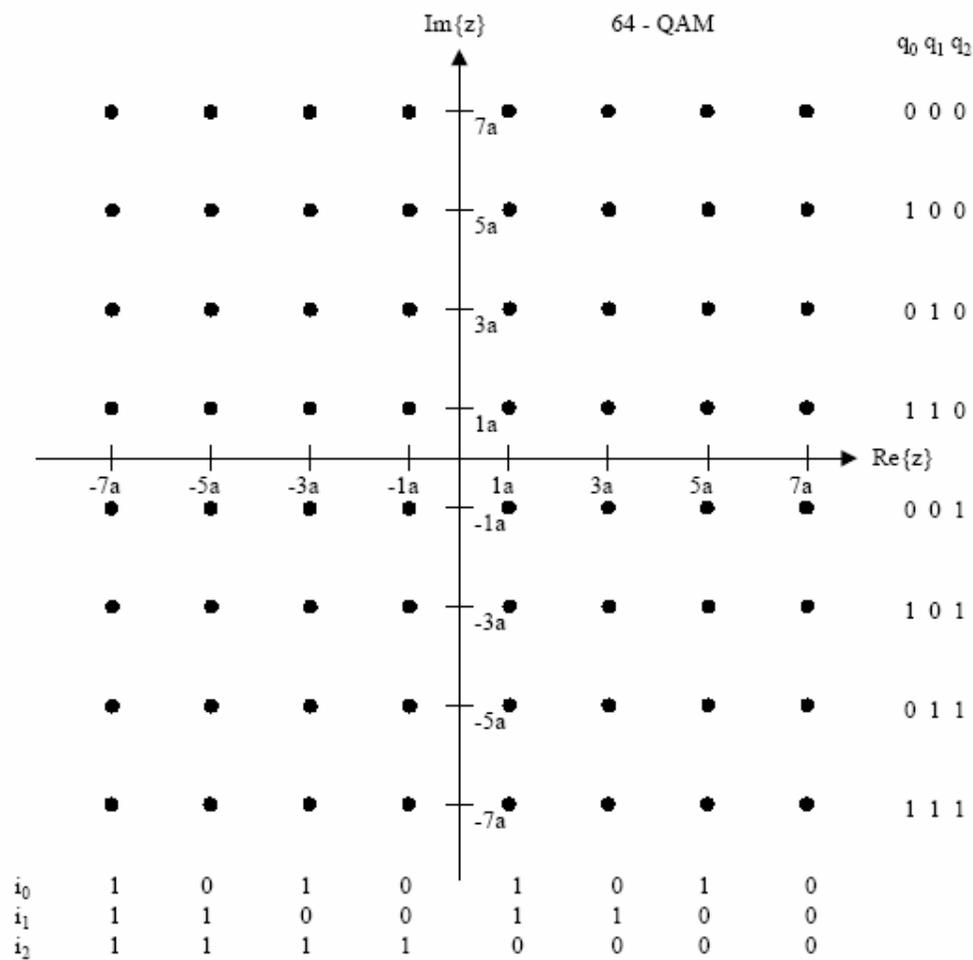


Figura 6.1: Constelación para 64-QAM sin modulación jerárquica

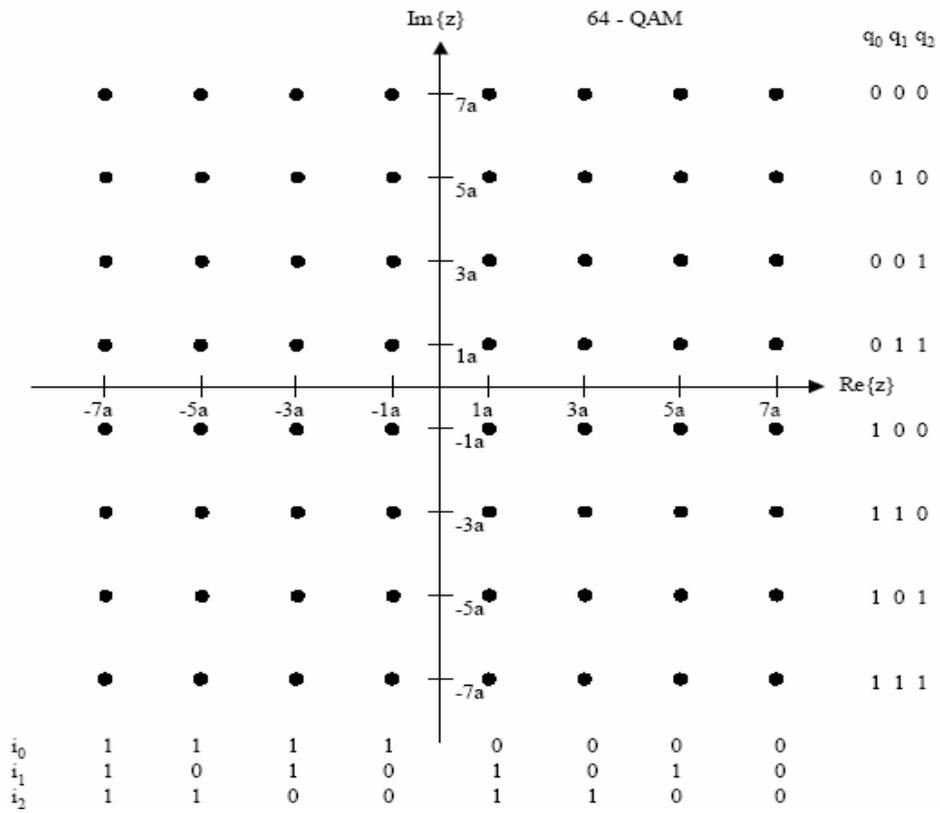


Figura 6.2: Constelación para 64-QAM con modulación jerárquica HMsym

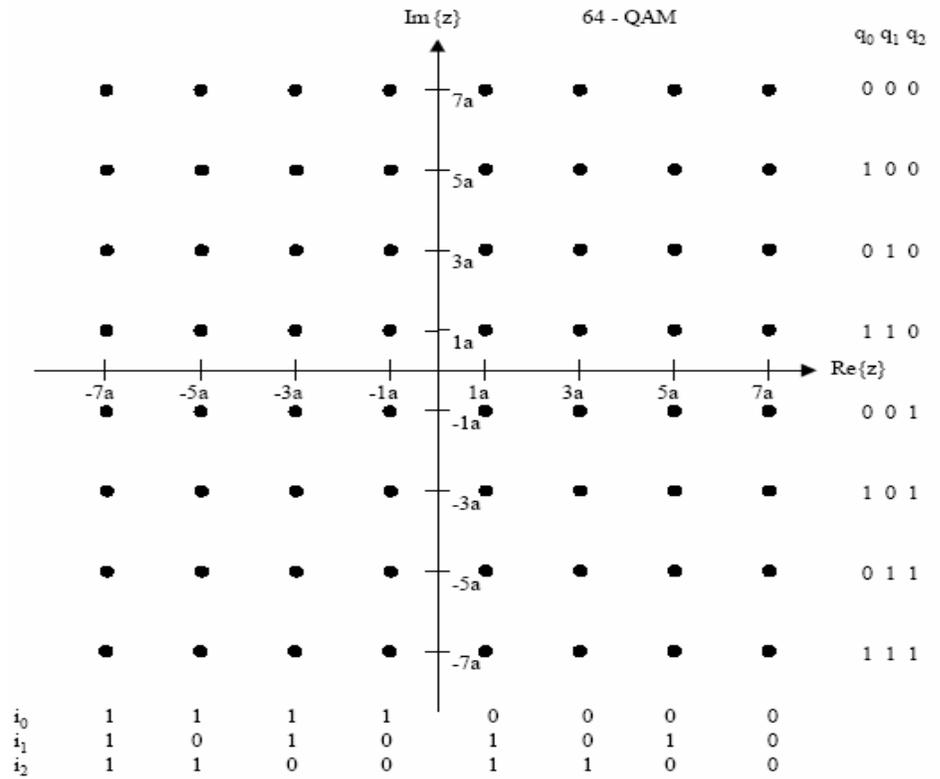


Figura 6.3: Constelación para 64-QAM con modulación jerárquica HMmix

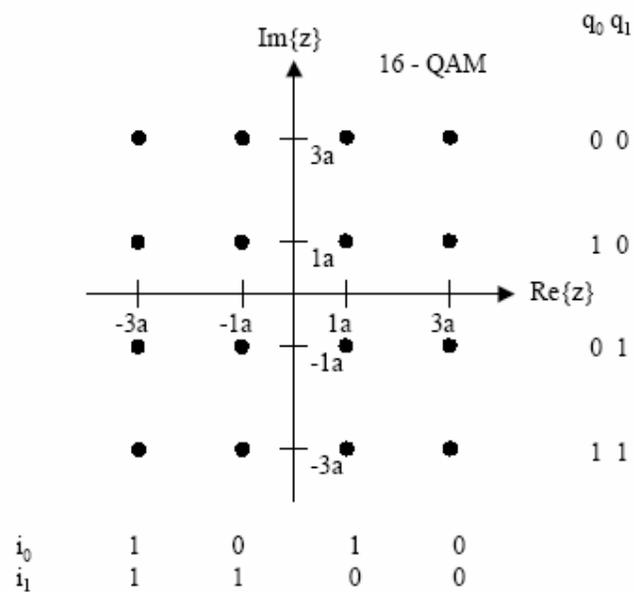


Figura 6.4: Constelación para 16-QAM

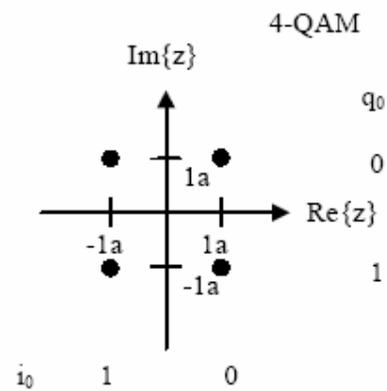


Figura 6.5: Constelación para 4-QAM

El parámetro “a” que se puede apreciar en todas las constelaciones del sistema DRM, depende principalmente del nivel de la modulación QAM, de la siguiente manera:

For 64-QAM, the normalization factor is  $a = \frac{1}{\sqrt{42}}$ .

For 16-QAM, the normalization factor is  $a = \frac{1}{\sqrt{10}}$ .

For 4-QAM, the normalization factor is  $a = \frac{1}{\sqrt{2}}$ .

## ANEXO 7

### 7.1 NIVELES DE PROTECCIÓN DE LOS MAPEOS JERÁRQUICOS

En DRM existen dos tipos de mapeos jerárquicos HMsym y HMmix, los mismos consisten en dividir la información en partes que tengan diferentes niveles de protección, a continuación se especifican las tasas de codificación utilizados para este tipo de mapeos:

#### Para HMsym:

##### *Parte protegida*

Protection level	$R_{all}$	$R_1$	$R_2$	$RY_{lcm}$
0	0,45	3/10	3/5	10
1	0,55	4/11	8/11	11
2	0,72	4/7	7/8	56
3	0,78	2/3	8/9	9

NOTE: These code rates are also used for the real part of HMmix.

##### *Parte muy protegida*

Protection level	$R_0$
0	1/2
1	4/7
2	3/5
3	2/3

NOTE: These code rates are also used for the real part of HMmix.

#### Para HMmix:

##### *Parte protegida*

Protection level	$R_{all}$	$R_0^{Im}$	$R_1^{Re}$	$R_1^{Im}$	$R_2^{Re}$	$R_2^{Im}$	$RY_{lcm}$
0	0,48	1/4	3/10	1/2	3/5	3/4	20
1	0,58	1/3	4/11	2/3	8/11	4/5	165
2	0,71	1/2	4/7	3/4	7/8	7/8	56
3	0,78	2/3	2/3	4/5	8/9	8/9	45

## ANEXO 8

### 8.1 ENTRELAZADO DE CELDAS

Una vez que los datos han sido modulados en QAM, se obtienen celdas QAM, para agregar un nivel más de robustez se aplica entrelazado a nivel de éstas celdas, pero tan sólo a las celdas QAM pertenecientes al canal de servicio principal MSC, al igual que para el caso de entrelazado de bits, el ordenamiento de las celdas se basan en el uso de una función de permutación, que depende del número de celdas que conforman una trama multiplex. A continuación se define la misma en la siguiente fórmula:

$$s = 2^{\lceil \log_2(N_{\text{MUX}}) \rceil}, \lceil \rceil \text{ means round towards plus infinity};$$

$$q = s / 4 - 1;$$

$$t_0 = 5;$$

$$\Pi(0) = 0;$$

for  $i = 1, 2, \dots, N_{\text{MUX}} - 1$ :

$$\Pi(i) = (t_0 \Pi(i-1) + q) \pmod{s};$$

while  $\Pi(i) \geq N_{\text{MUX}}$ :

$$\Pi(i) = (t_0 \Pi(i) + q) \pmod{s}.$$

Como vemos esta función ordena las celdas QAM dependiendo del número de las mismas.

## ANEXO 9

### **9.1 LEY DE RADIODIFUSIÓN Y TELEVISIÓN dictada mediante Decreto Supremo No. 256-A y publicada en el Registro Oficial No. 785 del 18 de abril de 1975 bajo el mandato del General Guillermo Rodríguez Lara, Presidente de la República; y sus reformas publicadas en los Registros Oficiales: No. 691 del 9 de mayo de 1995 y No. 699 del 7 de noviembre del 2002.**

#### Título I

##### DE LOS CANALES DE DIFUSIÓN RADIADA O TELEVISADA

Art. 1. Los canales o frecuencias de radiodifusión y televisión constituyen patrimonio nacional. Para efectos de esta Ley, se entiende como radiodifusión la comunicación sonora unilateral a través de la difusión de ondas electromagnéticas que se destinan a ser escuchadas por el público en general.

Art. 2. El Estado, a través del Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión (CONARTEL), otorgará frecuencias o canales para radiodifusión y televisión, así como regulará y autorizará estos servicios en todo el territorio nacional, de conformidad con esta Ley, los convenios internacionales sobre la materia ratificados por el Gobierno ecuatoriano, y los reglamentos.

Las funciones de control las ejercerá la Superintendencia de Telecomunicaciones.

Art. 3. Con sujeción a esta Ley, las personas naturales concesionarias de canales o frecuencias de radiodifusión y televisión, deben ser ecuatorianas por nacimiento. Las personas jurídicas deben ser ecuatorianas y no podrán tener más del 25% de inversión extranjera.

La violación de este precepto ocasionará la nulidad de la concesión y, por consiguiente, la frecuencia revertirá automáticamente al Estado y no surtirá ningún efecto jurídico. Dicha nulidad es imprescriptible.

Lo dispuesto en este artículo rige también para el arrendamiento de estaciones de radiodifusión y televisión y es aplicable a todos los casos previstos en el artículo 33 de la Ley de Compañías.

Art. 4. Para los efectos de esta Ley, las infracciones en que pueden incurrir los concesionarios y/o las estaciones de radiodifusión y televisión, se clasifican en delitos y faltas técnicas o administrativas. Estas últimas serán determinadas en el Reglamento.

Art. 5. El Estado podrá establecer, conforme a esta Ley, estaciones de radiodifusión o televisión de servicio público.

##### DE LOS ORGANISMOS DE RADIODIFUSIÓN Y TELEVISIÓN

Art. ... El Estado ejercerá las atribuciones que le confiere esta Ley a través del Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión y de la Superintendencia de Telecomunicaciones.

Art. ... El Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión es un organismo autónomo de derecho público, con personería jurídica, con sede en la Capital de la República.

Estará integrado por los siguientes miembros:

- a) El delegado del Presidente de la República, quien lo presidirá;
- b) El Ministro de Educación y Cultura o su delegado;
- c) Un delegado del Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas, que será un oficial general o superior en servicio activo;
- d) El Superintendente de Telecomunicaciones;
- e) El Presidente de la Asociación Ecuatoriana de Radio y Televisión (AER); y,
- f) El Presidente de la Asociación de Canales de Televisión del Ecuador (ACTVE).

Los delegados señalados en los literales a), b), c) y d) tendrán sus respectivos alternos; y, los de los literales e) y f) serán subrogados por quien corresponda según sus normas estatutarias.

El Presidente del Consejo será reemplazado, en casos de ausencia temporal, por un Presidente Ocasional, que será elegido de entre los miembros a los que se refieren los literales b), c) y d).

La organización y funcionamiento del Consejo serán determinados en el reglamento.

El Presidente del Consejo tendrá voto dirimente.

Art. ... El Presidente del Consejo es el representante legal, judicial y extrajudicial de este organismo. Le corresponde convocarlo a reuniones ordinarias, por lo menos una vez al mes; y, extraordinariamente, a iniciativa suya o a pedido de, cuando menos, tres de sus miembros titulares.

Art. ... Los miembros del Consejo en representación de la AER y de la ACTVE no podrán participar en sus reuniones ni votar en los asuntos en que personalmente o como concesionarios o funcionarios de estaciones de radiodifusión o televisión tengan interés directo o indirecto, o sus parientes hasta el segundo grado de afinidad o cuarto de consanguinidad.

#### Título II

##### DE LAS ESTACIONES DE RADIODIFUSIÓN Y TELEVISIÓN

Art. 6. Se reconocen dos clases de estaciones de televisión y radiodifusión:

- a) Comerciales privadas; y,
- b) De servicio público.

Art. 7. Son estaciones comerciales privadas las que tienen capital privado, se financian con publicidad pagada y persiguen fines de lucro.

Art. 8. Son estaciones de servicio público las destinadas al servicio de la comunidad, sin fines utilitarios, las que no podrán cursar publicidad comercial de ninguna naturaleza.

Están incluidas en el inciso anterior, las estaciones privadas que se dediquen a fines sociales, educativos, culturales o religiosos, debidamente autorizados por el Estado.

Sin embargo las estaciones comunitarias que nacen de una comunidad u organización indígena, afroecuatoriana, campesina o cualquier otra organización social, que su labor esté orientada al fortalecimiento de la comunidad, a la consolidación intercultural y social, a la defensa de los valores humanos, históricos, artísticos, que afiancen la identidad nacional y vigoricen la vigencia de los derechos humanos, pueden realizar autogestión para el mejoramiento, mantenimiento y operación de sus instalaciones, equipos y pago de personal a través de donaciones, mensajes pagados, y publicidad de productos comerciales.

Los requisitos, condiciones, potestades, derechos, obligaciones y oportunidades que deben cumplir los canales o frecuencias de radiodifusión y televisión de las estaciones comunitarias, serán los mismos que esta Ley determina para las estaciones privadas con finalidad comercial, en concordancia con lo prescrito por el numeral 10 del artículo 23 de la Constitución Política de la República.

Las utilidades que se percibieren de la administración de estas emisoras deberán ser reinvertidas en ampliar los servicios, sistemas o equipos de las mismas, o en actividades propias de la comunidad que representan.

### Título III

#### DE LOS CONCESIONARIOS

Art. 9. Toda persona natural o jurídica ecuatoriana podrá, con sujeción a esta Ley, obtener del Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión, la concesión de canales o frecuencias radioeléctricos, para instalar y mantener en funcionamiento estaciones de radiodifusión o televisión, por un período de diez años, de acuerdo con las disponibilidades del Plan Nacional de Distribución de Frecuencias y la clase de potencia de la estación.

Esta concesión será renovable sucesivamente con el o los mismos canales y por períodos iguales, sin otro requisito que la comprobación por la Superintendencia de Telecomunicaciones, en base a los controles técnicos y administrativos regulares que lleve, de que la estación realiza sus actividades con observancia de la Ley y los reglamentos. Para esta renovación no será necesaria, la celebración de nuevo contrato.

La Superintendencia no podrá suspender el funcionamiento de la estación durante este trámite.

Para el otorgamiento de la concesión, el Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión anunciará la realización de este trámite por uno de los periódicos de mayor circulación de Quito y Guayaquil y por el de la localidad en donde funcionará la estación, si lo hubiere, a costa del peticionario, con el objeto de que, en el plazo de quince días contados a partir de la publicación, cualquier persona pueda impugnar, conforme a la Ley, dicha concesión.

Para el otorgamiento de la concesión o renovación, el Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión de conformidad con lo determinado en el primer inciso, tratándose de canales o frecuencias radioeléctricas que soliciten tener cobertura nacional, previa a la concesión de las mismas se verificará técnicamente que su señal llegue a todos los sectores del país.

Art. 10. Ninguna persona natural o jurídica podrá obtener, directa o indirectamente, la concesión en cada provincia de más de un canal de onda media, uno de frecuencia modulada y uno en cada una de las nuevas bandas que se crearen en el futuro, en cada provincia, ni de más de un canal para zona tropical en todo el país, y un sistema de televisión en la República.

Art. ... Total o parcialmente, y de manera permanente u ocasional, las estaciones de radiodifusión y/o televisión, de propiedad de un mismo concesionario o de varios de ellos, puede constituir sistemas locales, regionales o nacionales, cualesquiera sean las modalidades de asociación, para producir y/o transmitir una misma o variable programación.

Art. 11. Las frecuencias de onda corta internacional u ondas decamétricas sólo serán concedidas a personas jurídicas de derecho público o de derecho privado con finalidad social o pública.

Art. 14. La concesión de frecuencias auxiliares para estaciones de repetición en cualquier banda, se registrará por el mismo trámite que para las frecuencias principales, lo que se aplicará también a las destinadas a radioenlaces.

Cuando no hayan sido concedidas conjuntamente con las principales bastará una comunicación escrita de la Superintendencia de Telecomunicaciones como constancia de la asignación.

Art. 15. Las concesiones para estaciones de servicio público, están exonerados de la garantía de instalación y requerirán la autorización de la Superintendencia de Telecomunicaciones.

Art. 16. Con autorización del Consejo de Radiodifusión y Televisión podrá el concesionario o quien represente legalmente los derechos sucesorios, arrendar la totalidad de la estación hasta por dos años, por una sola vez, dentro del tiempo de vigencia de la concesión, por una o más de las siguientes causas: enfermedad grave o prolongada de persona natural; ausencia del país por más de tres meses; y, desempeño de función o representación pública que se justificarán con los documentos legales respectivos.

Si transcurrido este período el concesionario no reasume o no transfiere la frecuencia de acuerdo con esta Ley, la misma revertirá al Estado, previa la resolución correspondiente.

Art. 17. El arrendatario de una estación debe reunir los mismos requisitos legales que el concesionario y estará sujeto a las mismas responsabilidades y obligaciones.

Art. 18. El concesionario podrá transferir su derecho sobre la frecuencia únicamente en el caso de venta de la respectiva estación y previa autorización de la Superintendencia de Telecomunicaciones. En este caso, el comprador deberá renovar la concesión, ateniéndose a los requisitos determinados por esta Ley y los Reglamentos.

El concesionario que no hubiere podido utilizar una frecuencia de acuerdo al contrato y a las normas legales y reglamentarias, no podrá transferir a otra persona su derecho sobre ella y la frecuencia revertirá al Estado.

Se presume que toda venta de una estación de radiodifusión o televisión conlleva la transferencia de los derechos sobre el canal o canales con que estaba operando, siempre que estos hubieren sido concedidos en forma legal y que la concesión se hallare vigente.

De no cumplirse estos requisitos, la Superintendencia de Telecomunicaciones no autorizará la venta, y, si de hecho se llevara a cabo sin su consentimiento, la frecuencia revertirá, sin otro requisito al Estado.

No se podrá ceder ni en manera alguna gravar, dar en fideicomiso o enajenar total o parcialmente la concesión, los derechos en ella conferidos, instalaciones, servicios auxiliares, dependencias o accesorios, a un gobierno o persona extranjera, ni admitirlos como socios de la empresa concesionaria.

### Capítulo III

#### DE LOS REQUISITOS PARA LA CONCESIÓN

Art. 19. Todo nuevo contrato de concesión de frecuencia para estación de radiodifusión o televisión o de transferencia de la concesión, deberá celebrarse por escritura pública entre el Superintendente de Telecomunicación y el concesionario, previa resolución favorable del Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión.

El Superintendente estará obligado a otorgar dicha escritura previo el cumplimiento de los requisitos legales y técnicos en el término de quince días de autorizada la concesión o transferencia, a menos que el Consejo amplíe dicho término por causas de fuerza mayor. Si, por cualquier motivo, el mencionado funcionario no cumpliera esta obligación, el Consejo podrá disponer que la escritura sea otorgada por uno de sus miembros o por otro funcionario de la Superintendencia.

Para su plena validez, dicha escritura deberá ser anotada en el Registro de Concesiones que, para este efecto, llevará la Superintendencia.

Igual obligación tiene el concesionario respecto de las transferencias de acciones o participaciones de la empresa y, en general, de todos los cambios que, de conformidad con el artículo 33 de la Ley de Compañías, se produzcan en su constitución y funcionamiento. La Superintendencia no registrará los actos o contratos que no estén ceñidos a lo preceptuado en el artículo 3 de la presente Ley.

Art. 20. En el contrato de concesión se harán constar, obligatoriamente, los siguientes requisitos:

- a) Nacionalidad del concesionario, acreditada de acuerdo con la Ley;
- b) Escritura pública de constitución de la sociedad concesionaria y título de propiedad de los equipos; y cuando se trate de una persona natural sólo se requerirá el título de propiedad. Se admitirá provisionalmente la promesa de compraventa, judicialmente reconocida, a falta de dicho título;
- c) Lugar en que la estación será instalada, con indicación precisa de su domicilio y sitios de trabajo, y ubicación cartográfica de los transmisores;
- d) Nombre de la estación radiodifusora o televisora, potencia de operación, frecuencia asignada, horario de trabajo y el indicativo que utilizará para identificarse;
- e) Garantía que, con sujeción al Reglamento, el concesionario rinde a favor de la Superintendencia de Telecomunicaciones, para el cumplimiento de la instalación;
- f) Cantidad que pagará mensualmente por la utilización de la frecuencia.

### Capítulo IV

#### DE LAS INSTALACIONES

Art. 21. La Superintendencia de Telecomunicaciones autorizará, simultáneamente, con el otorgamiento de la concesión, la instalación de la radiodifusora o televisora, de conformidad con los requisitos técnicos que establezcan los Reglamentos.

Art. 22. A la firma del contrato, el concesionario rendirá la garantía establecida en el Reglamento. Declarado el incumplimiento, por parte de la Superintendencia de Telecomunicaciones, de las obligaciones contractuales del concesionario, se efectivizará la garantía rendida, la misma que ingresará al patrimonio de dicho Instituto.

Art. 23. El plazo de instalación será de un año. De no efectuársela, la concesión revertirá al Estado, previa la resolución correspondiente.

Art. 24. No se permitirá el funcionamiento de una estación si el concesionario no presentare, al término de la instalación, el título de propiedad de los equipos aún que exista reserva de dominio.

El vendedor de dichos equipos, que, por falta de pago, embargare los mismos, no tendrá derecho a que se le transfiera el canal con que la estación estuviere operando y la frecuencia revertirá al Estado, salvo el caso de que el concesionario le vendiere la estación, con la correspondiente autorización legal.

Art. 25. Los equipos transmisores de las estaciones radiodifusoras de onda media y corta, deberán instalarse fuera de la línea perimetral urbana y límites poblados de la ciudad y estarán ubicados en sitios equidistantes con respecto al centro de la ciudad objeto del área primaria de transmisión.

La aplicación de esta regla estará sujeta a la topografía de la ciudad sobre la que se ejerza dicha área primaria de cobertura; a la configuración del plano urbano de la misma; a la aptitud del terreno para efectos de propagación de las ondas electromagnéticas, donde se instalarán los transmisores, a la necesidad de protección de los servicios de telecomunicaciones; o cualquier otro factor de orden técnico que deba ser tomado en consideración.

La incidencia de estos factores será reglamentada en cada caso.

Cuando no estuviere determinada por ordenanza municipal la línea perimetral urbana, o la zona efectivamente poblada la excediere, la Superintendencia de Telecomunicaciones determinará dicha ubicación, en coordinación con el Municipio respectivo.

Art. 27. Toda radiodifusora o televisora debe ceñirse a las cláusulas del contrato y a las normas técnicas, legales y reglamentarias correspondientes.

Cualquier modificación de carácter técnico debe ser autorizada por la Superintendencia de Telecomunicaciones. Si se hiciere sin su consentimiento, éste multará al concesionario y suspenderá la instalación, hasta comprobar la posibilidad técnica de autorizar la modificación. Esta suspensión no podrá exceder de un año, vencido el cual, si no se ha superado el problema, los canales concedidos revertirán al Estado.

Si la modificación que se solicita afecta a la esencia del contrato, el concesionario estará obligado a la celebración de uno nuevo, siempre que sea legal y técnicamente posible.

#### Capítulo V

#### DE LA POTENCIA

Art. 28. De acuerdo a su potencia y a la frecuencia, las estaciones de onda media se clasifican en nacionales, regionales y locales.

Las nacionales deben tener potencia mínima superior a 10 kilovatios; las regionales un mínimo superior a 3 kilovatios y un máximo de 10 kilovatios; y las locales, 3 kilovatios como máximo.

Art. 29. Sin perjuicio de lo dispuesto en el artículo anterior, el mínimo de potencia de las estaciones de onda media locales de capitales de provincia y de otras ciudades cuya población pase de cincuenta mil habitantes, será de un kilovatio.

El mínimo de potencia de las estaciones de ciudades cuya población no llegue a dicha cantidad, será de quinientos vatios.

Art. 30. Las estaciones de onda corta para la zona tropical, cualquiera que sea el lugar en que se ubiquen, tendrán una potencia mínima de un kilovatio y una máxima de diez kilovatios. Cualquier incremento sobre este máximo, quedará sujeto a los reglamentos o convenios internacionales vigentes.

Las estaciones de onda corta internacional u ondas cortas decamétricas tendrán una potencia mínima de diez kilovatios.

Art. 33. La potencia de las estaciones repetidoras estará de acuerdo al área a cubrirse y a la banda en la que se asignen los canales.

Art. 34. Sin perjuicio de su clasificación, toda estación puede disponer de equipo de reserva para suplir provisionalmente al equipo transmisor principal, cuando éste debe ser reparado o en determinadas horas del día. En el primer caso, el equipo de reserva tendrá una potencia mínima de 10% en relación al principal, y, en el segundo, el 30%. En este caso, además la Superintendencia de Telecomunicaciones deberá autorizar su instalación y funcionamiento.

Art. 35. El Plan Nacional de Distribución de Frecuencias para Radiodifusión y Televisión será aprobado por el Consejo Nacional respectivo. En este documento constarán los canales o frecuencias concedidos y los que estuvieren disponibles, de acuerdo con las asignaciones que correspondan al Ecuador en las diferentes bandas

en el Plan Nacional de Frecuencias como signatario de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y de otros convenios internacionales.

La Superintendencia de Telecomunicaciones informará periódicamente, al Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión, la disponibilidad de todos los segmentos del espectro radioeléctrico que no se hallen utilizados, correspondientes a radiodifusión y televisión, para que los asigne conforme a esta Ley y, además, le suministrará a este organismo toda la información y colaboración técnica y administrativa que requiera para cumplimiento de sus funciones y responsabilidades.

#### Capítulo VI

##### DE LAS TARIFAS

Art. 36. Las estaciones comerciales de televisión y radiodifusión están obligadas sin excepción al pago de las tarifas por concesión y utilización de frecuencias, aún cuando estuviere suspenso su funcionamiento.

Art. 37. El Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión fijará las tarifas tomando en cuenta, la potencia de los equipos, las frecuencias asignadas, el número de repetidoras y el área cubierta y otros aspectos técnicos.

Art. 38. Para efecto del pago de las tarifas, los radio-enlaces estudio transmisor, cuyas emisiones no son recibidas por el público se consideran como partes integrantes del canal principal; y, por consiguiente, no están sujetos a ningún recargo adicional.

Las modificaciones posteriores de las tarifas, no obligan a la celebración de nuevo contrato.

#### Título IV

##### DE LA PROGRAMACIÓN

##### Capítulo I

##### DE LA RESPONSABILIDAD

Art. 39. Toda estación radiodifusora y televisora goza de libertad para realizar sus programas y, en general, para el desenvolvimiento de sus actividades comerciales y profesionales, sin otras limitaciones que las establecidas en la Ley.

Art. 40. La clase de concesión determina la naturaleza de los programas o actividades que la estación está facultada para llevar a cabo, salvo lo dispuesto en la Ley.

Art. 41. La responsabilidad por los actos o programas o las expresiones vertidas por o a través de las estaciones de radiodifusión y/o televisión, tipificados como infracciones penales, será juzgada por un juez de lo penal previa acusación particular, con sujeción al Libro Cuarto, Título V, Capítulo IV del Código de Procedimiento Penal.

Ni la concesión en sí, ni el funcionamiento de la estación serán afectados por las penas que los jueces o tribunales impongan a las personas responsables.

Las demás infracciones de carácter técnico o administrativo en que incurran los concesionarios o las estaciones, serán sancionadas y juzgadas de conformidad con esta Ley y los reglamentos.

Art. 43. Todo programa improvisado, sea que se realice dentro o fuera de los estudios, deberá ser grabado o filmado y conservado hasta por treinta días a partir de la fecha de emisión.

Cuando la transmisión sea hecha en cadena, esta obligación corresponde a la estación matriz.

Dentro del plazo establecido en este artículo, tales grabaciones o filmaciones serán obligatoriamente presentadas por la estación al juez de lo penal, cuando sean legalmente requeridas, con el fin de determinar las responsabilidades a que hubiere lugar.

#### Capítulo II

##### DE LA CALIDAD DE LOS PROGRAMAS

Art. 44. El Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión regulará y controlará, en todo el territorio nacional, la calidad artística, cultural y moral de los actos o programas de las estaciones de radiodifusión y televisión. Las resoluciones que en este sentido adopte serán notificadas al concesionario para la rectificación correspondiente.

Si no existieren regulaciones específicas sobre las materias a que se refiere el inciso precedente, el Consejo aplicará las contenidas en los Códigos de Ética de la Asociación Ecuatoriana de Radio y Televisión (AER) y de la Asociación de Canales de Televisión del Ecuador (ACTVE), conforme a la afiliación.

Art. 46. Las estaciones de radiodifusión y televisión propenderán al fomento y desarrollo de los valores culturales de la nación ecuatoriana y procurarán la formación de una conciencia cívica orientada a la consecución de los objetivos nacionales. Se promoverán de manera especial la música y los valores artísticos nacionales.

Art. 47. El Estado, a través del Gobierno o de las entidades descentralizadas de derecho público o de derecho privado con finalidad social o pública, exigirá que una o más estaciones transmitan, a costa de ellas, la realización de cualquier programa de interés social o público, con sujeción a las correspondiente normas reglamentarias.

Art. 48. Los idiomas oficiales de locución son el castellano y el quichua.

Los textos escritos de publicidad deberán ser emitidos en cualquiera de dichos idiomas.

Se exceptúan de esta obligación los programas destinados a sectores indígenas que hablen dialectos, o que estén dirigidos a países en los que hablen otros idiomas.

Art. 49. Los programas que transmitan hasta las veinte y una horas, las estaciones de radiodifusión y televisión, deberán ser aptos para todo público. A partir de esta hora, se sujetarán a las normas legales o reglamentarias que rijan al respecto.

### Capítulo III

#### DE LA PRODUCCIÓN Y SU PROPIEDAD

Art. 50. Toda estación tiene derecho a la propiedad comercial, artística o literaria sobre los actos o programas que origine o que produzca exclusivamente. La estación que desee retransmitirlos, deberá contar con la autorización de la matriz, salvo el caso de las cadenas que por Ley estuvieren obligadas a formar.

Art. 51. La estación que desee proteger la exclusividad de su transmisión o retransmisión, deberá presentar la solicitud de registro, dentro de cuarenta y ocho horas de anticipación por lo menos, en los días hábiles, a la Superintendencia de Telecomunicaciones, el cual estará obligado a notificar el particular a las demás estaciones.

Sin menoscabo del derecho de los legítimos beneficios a reclamar indemnización por daños y perjuicios, la Superintendencia de Telecomunicaciones, impondrá las sanciones correspondientes a las estaciones que violaren esta exclusividad.

Art. 52. Se considera que un programa, acto o transmisión es exclusivo, cuando reúna uno o más de los siguientes requisitos:

- a) Que la estación haya adquirido en legal forma los derechos exclusivos de alguna persona natural o jurídica, sobre el acto, obra, programa o transmisión;
- b) Que lo que se procure sea proteger el nombre, la caracterización de los personajes y el argumento o guión de un acto o programa;
- c) Que se trate de la transmisión o retransmisión de un acto o programa originado en el exterior, para la cual la estación peticionaria sea la única autorizada.

La estación matriz podrá, a su vez, autorizar la retransmisión por otras estaciones, pero si los derechos exclusivos fueren adquiridos en copropiedad por varios concesionarios, solo ellos, de consuno, podrán acordar esta autorización. No habrá lugar al registro de la exclusividad si una o varias estaciones fueren a transmitir directamente y pudieren retransmitir desde el exterior, con autorización de la matriz, el acto o programa.

Se prohíbe la utilización parcial o total de las transmisiones o retransmisiones exclusivas por otras estaciones de radiodifusión o televisión, no autorizadas para transmitir o retransmitir el desarrollo instantáneo o diferido de los mismos actos o programas.

Se exceptúan de lo dispuesto en el inciso anterior, la libre emisión de noticias sobre dichos actos o programas, o la retransmisión o reproducción diferida, dentro de la programación ordinaria, y hasta por un tiempo máximo de cinco minutos, de la relación directa, radial o televisada, de tales eventos, cuando la estación hubiere sido autorizada con este fin o cuando la grabación o filmación provengan de agencias informativas legalmente establecidas en el país.

d) Que la estación haya recibido el encargo o la autorización exclusiva de alguna organización privada de transmitir algún evento específico.

Art. 53. Toda estación puede registrar en la Superintendencia de Telecomunicaciones la transmisión de cualquier acto, obra, programas o evento, para protegerla de retransmisiones arbitrarias.

El registro puede incluir la nómina de las estaciones autorizadas para llevar a cabo la retransmisión, de permitirlo la matriz.

Art. 54. Todo evento, espectáculo, concentración o manifestación de asistencia libre o pagada, que sea organizada por una entidad pública o privada con finalidad social o pública, puede ser transmitido y retransmitido sin costo alguno por cualquier estación.

Art. 55. Los actos, eventos o espectáculos que organicen personas naturales o jurídicas privadas, con sus propios recursos, pueden ser transmitidos exclusivamente por las estaciones de radiodifusión o televisión que fueren autorizadas con este fin, gratuitamente o mediante el pago de los derechos económicos que fijen los organizadores.

Art. ... Toda entidad deportiva creada por ley, o reconocida o autorizada por el Estado, cuyas actividades sean directa o indirectamente financiadas con fondos públicos, incluidas la construcción, remodelación o mantenimiento de sus estadios, coliseos y otros establecimientos similares, podrá cobrar los precios que ella fije para la transmisión exclusiva por estaciones de radiodifusión o televisión, de los eventos que lleve a cabo. Para este efecto convocará, de acuerdo con el Reglamento que aprobará el Ministro de Educación y Cultura, a concurso público entre todas las estaciones de radio y televisión, según el caso, para adjudicar; a las que presenten las mejores ofertas, los contratos de exclusividad respectivos.

Sólo en el caso de que dichos medios no presenten ofertas, la entidad correspondiente quedará facultada para convocar este mismo concurso entre estaciones o empresas extranjeras, que se domicilien legalmente en el país.

El derecho de transmisión exclusiva a que se refiere este artículo, se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el literal c) del artículo 52 de esta Ley y de la garantía de libre acceso, a los eventos que realicen las entidades deportivas, de los periodistas de los diarios o revistas periódicas para los fines informativos de estos medios.

Art. 56. Toda publicidad de empresas, entidades o actividades nacionales o extranjeras que transmitan las estaciones, deberá elaborarse en el país con personal ecuatoriano.

Art. 57. En la producción y/o difusión de actos, programas o espectáculos con artistas extranjeros, las estaciones incluirán artistas ecuatorianos, en los términos establecidos en la Ley.

#### Capítulo IV

##### DE LAS PROHIBICIONES

Art. 58. Se prohíbe a las estaciones de radiodifusión y televisión:

a) Emitir mensajes de carácter particular que sean de la competencia del servicio estatal de telecomunicaciones, salvo los destinados a las áreas rurales a donde no llegue dicho servicio. Se permite además este tipo de comunicaciones, urbanas o interurbanas, en los casos de emergencia, enfermedad, catástrofe, accidentes o conmoción social y en todos los casos en que lo dispusiera la defensa civil.

Se exceptúan de la prohibición anterior las invitaciones, partes mortuorios, citaciones o informaciones relativas a las actividades de organizaciones o grupos sociales.

b) Difundir directamente, bajo su responsabilidad actos o programas contrarios a la seguridad interna o externa del Estado, en los términos previstos en los Códigos Penal y de Procedimiento Penal, sin perjuicio de las libertades de información y de expresión garantizadas y reguladas por la Constitución Política de la República y las leyes;

c) Promover la violencia física o psicológica, utilizando niños, mujeres, jóvenes o ancianos, incentivar, realizar o motivar el racismo, el comercio sexual, la pornografía, el consumo de drogas, la intolerancia religiosa o política y otros actos análogos que afecten a la dignidad del ser humano;

d) Transmitir artículos, cartas, notas o comentarios que no estén debidamente respaldados con la firma o identificación de sus autores, salvo el caso de comentarios periodísticos bajo seudónimo que corresponda a una persona de identidad determinable;

e) Transmitir noticias, basadas en supuestos, que puedan producir perjuicio o conmociones sociales o públicas;

f) Hacer apología de los delitos o de las malas costumbres, o revelar hechos y documentos no permitidos por las leyes, en la información o comentario de actos delictuosos;

g) Omitir la procedencia de la noticia o comentario, cuando no sea de responsabilidad directa de la estación, o la mención de la naturaleza ficticia o fantástica de los actos o programas que tengan este carácter.

Las estaciones podrán leer libremente las noticias o comentarios de los medios de comunicación escrita.

h) Realizar publicidad de artículos o actividades que la Ley o los Reglamentos prohíben;

i) Recibir subvenciones económicas de gobiernos, entidades gubernamentales o particulares y personas extranjeras, con fines de proselitismo político o que atenten contra la seguridad nacional.

Cuando estas infracciones fueren tipificadas como infracciones penales, serán juzgadas por un juez de lo penal, mediante acusación particular; con sujeción al Libro Cuarto, Título V, Capítulo IV del Código de Procedimiento Penal. Si sólo fueren faltas técnicas o administrativas, su juzgamiento corresponderá a la Superintendencia de Telecomunicaciones, conforme al Título VII de esta Ley; pero el Superintendente deberá, bajo su responsabilidad examinar previamente la naturaleza de la infracción para asumir su competencia.

#### Capítulo V

##### DE LAS OBLIGACIONES SOCIALES

Art. 59. Toda estación está obligada a prestar los siguientes servicios sociales gratuitos:

a) Transmisión en cadena de los mensajes o informes del Presidente de la República, del Presidente del Congreso Nacional, del Presidente de la Corte Suprema de Justicia, del Presidente del Tribunal Supremo Electoral y de los Ministros de Estado o funcionarios gubernamentales que tengan este rango. En el Reglamento General de esta Ley se regulará el uso de estos espacios, su tiempo de duración, la frecuencia de cada uno de ellos y su transmisión en horarios compatibles con la programación regular de las estaciones de radiodifusión y televisión, salvo el caso de emergencia constitucionalmente declarada.

Estos espacios serán usados exclusivamente para la información de las actividades de las respectivas funciones, ministerios u organismos públicos.

Los funcionarios que transgredan esta disposición serán sancionados de acuerdo a la Ley.

b) Transmisión en cadena de informativos, partes, o mensaje de emergencia del Presidente de la República,

Consejo de Seguridad Nacional, Miembros de Gabinete, Gobernadores de Provincia, Comandantes de Zonas Militares y Autoridades de salud;

- c) Transmisión individual de la estación de los mensajes, informes o partes de los mismos funcionarios y en los casos designados en los numerales anteriores, cuando sea el único medio de comunicación disponible;
- d) Destinación de hasta una hora diaria, de lunes a sábado, no acumulables, para programas oficiales de tele-educación y salubridad, elaborados por el Ministerio de Educación y Salud Pública;
- e) Convocatoria a los ciudadanos para el cumplimiento del Servicio Militar Obligatorio o cualquier otro asunto relacionado con las obligaciones cívicas.

#### Título IV

##### DE LAS GARANTÍAS PARA LA RADIODIFUSIÓN

Art. 60. Los concesionarios, siempre que cumplan con los requisitos establecidos en esta Ley, tendrán derecho para que el Ministerio de Finanzas, previo informe de la Superintendencia de Telecomunicaciones, les reconozca la exoneración de todos los impuestos a la importación, de equipos transmisores de radiodifusión de 20 kilovatios o más en AM., equipos transmisores de Frecuencia Modulada de 1 kilovatio o más y plantas de televisión de cualquier capacidad que introdujeren al país, así como, de equipos accesorios y repuestos que fueren necesarios.

La importación y transferencia de dominio de los bienes amparados por esta disposición se sujetarán al Reglamento que será expedido mediante Acuerdo dictado por los Ministros de Finanzas, Obras Públicas y Comunicaciones.

#### Título V

##### DE LOS TRABAJADORES DE RADIODIFUSIÓN Y TELEVISIÓN

Art. 61. Los Directores, Gerentes y demás jefes departamentales, personal de locutores, técnicos de mantenimiento, de operación y, en general, de trabajadores que tengan el carácter de profesionales de radio o de televisión serán ecuatorianos. Los dos primeros serán ecuatorianos por nacimiento.

Se exceptúan los locutores de las producciones extranjeras.

Art. 62. Las estaciones de radiodifusión y televisión podrán contratar permanentemente asesores, técnicos o personal especializado extranjero, con autorización del Ministerio de Trabajo y Recursos Humanos, siempre que, a juicio de esta dependencia, no lo hubiere en el país en las materias para las cuales se los requiere.

Art. 63. Para su funcionamiento, toda estación presentará a la Superintendencia de Telecomunicaciones, la lista de su personal y la certificación de su afiliación al Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, la que podrá ser objetada si no reúne los requisitos establecidos en esta Ley.

Todo cambio de personal debe ser oportunamente comunicado a la Superintendencia de Telecomunicaciones, para los mismos efectos.

Art. 64. En el reglamento se establecerán las diferentes clases y categorías profesionales de trabajadores de radio y televisión.

Art. 65. Los estudios de ingeniería, especificaciones técnicas y planos de los equipos y adicionales construidos o que se modificaren en el país, deberán ser elaborados y suscritos por ingenieros en electrónica y/o telecomunicaciones, graduados en los Institutos de Educación Superior del país, o por profesionales que hayan revalidado sus títulos de acuerdo con la Ley y los Reglamentos.

Las especificaciones técnicas y planos de los equipos y adicionales extranjeros, serán verificados y certificados por los profesionales a los que se refiere el inciso anterior.

Las instalaciones podrán ser efectuadas por ingenieros extranjeros no domiciliados en el país, cuando pertenezcan a la casa fabricante de equipos o adicionales extranjeros, cuya importación esté permitida y mientras dure el plazo de garantía del fabricante o proveedor, debiendo intervenir necesariamente un profesional ecuatoriano.

Art. 66. El mantenimiento técnico de las estaciones puede ser realizado indistintamente por ingenieros en electrónica o telecomunicaciones, o técnicos de nivel medio, siempre que sean ecuatorianos.

Exceptúase el mantenimiento que, por el plazo máximo de dos años proporcionan las casas fabricantes extranjeras proveedoras de equipos importados, a partir de su instalación, siempre que este servicio haya sido contratado al momento de la adquisición y que se lo ponga en conocimiento de la Superintendencia de Telecomunicaciones, así como que se adiestre a personal ecuatoriano.

#### Título VI

##### DEL TÉRMINO DE LAS CONCESIONES

Art. 67. La concesión de canal o frecuencia para la instalación y funcionamiento de una estación de radiodifusión y televisión, termina:

- a) Por vencimiento del plazo de la concesión, salvo que el concesionario tenga derecho a su renovación, de acuerdo con esta Ley;
- b) Por voluntad del concesionario;
- c) Por muerte del concesionario;

d) Por incumplimiento en la instalación dentro del plazo, que de conformidad con el Reglamento, concediere la Superintendencia de Telecomunicaciones;

e) Por reincidencia en faltas de carácter técnico que hubieren sido sancionadas con dos multas y una suspensión.

No habrá lugar a la reincidencia si la Superintendencia de Telecomunicaciones otorga al concesionario un plazo que no excederá de seis meses para el arreglo definitivo del problema técnico, sin perjuicio de que se ordene la suspensión del funcionamiento de la estación durante el plazo de prórroga;

f) Por pérdida de la capacidad civil del concesionario o disolución de la sociedad concesionaria;

g) Por enajenación, arrendamiento o traslado de la estación a otra localidad o ciudad distinta de la concesión, sin autorización previa de la Superintendencia de Telecomunicaciones;

h) Por violación del literal i) del artículo 58;

i) Por mora en el pago de seis o más pensiones consecutivas de arrendamiento de la frecuencia concedida;

j) Por incumplimiento al literal e) del artículo 58 de la Ley de Radiodifusión y Televisión.

Para que proceda la terminación de la concesión, el Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión, notificará al concesionario para que, en el término de treinta días, ejerza su defensa y presente las pruebas que la Ley le faculta. Con estos antecedentes, este organismo emitirá su resolución en el término de quince días, la que le será notificada al concesionario en el término de tres días. El concesionario tendrá derecho, en el término de ocho días, a solicitar que el Consejo revea su decisión, el cual podrá ratificarla, revocarla o modificarla, en el término de quince días. Si esta segunda resolución le es también desfavorable, el concesionario podrá recurrir ante el respectivo Tribunal Distrital de lo Contencioso Administrativo, conforme a la Constitución Política de la República y la Ley. La omisión del Consejo en pronunciarse en dicho término dará derecho al concesionario para interponer este recurso.

La cancelación de la concesión acarrea la clausura de la estación, pero la Superintendencia no podrá ejecutar esta medida mientras no haya resolución en firme del Consejo o sentencia ejecutoriada del Tribunal Distrital de lo Contencioso Administrativo o de la Sala de lo Contencioso Administrativo de la Corte Suprema de Justicia, en el caso de que cualquiera de las partes hubiere interpuesto el recurso de casación, salvo lo previsto en el literal e) de este artículo, siempre que la deficiencia técnica produjere interferencia en otro medio electrónico de comunicación circunstancia en la cual la estación podrá ser suspendida mientras subsista este problema.

Art. 68. En caso de pérdida de la capacidad civil del concesionario por interdicción, su cónyuge, curador o hijos mayores tienen derecho a solicitar nueva concesión en los mismos términos del contrato original. Dicha concesión deberá ser solicitada en el plazo de ciento ochenta días contados a partir de la sentencia ejecutoriada de interdicción.

Art. 69. En caso de muerte del concesionario, sus herederos por sí o por medio de sus representantes legales, tendrán derecho a solicitar una nueva concesión, dentro del plazo de ciento ochenta días a partir de la fecha de fallecimiento, y en los mismos términos del contrato original.

Hecha la partición de la herencia, el heredero adjudicatario de la estación, tendrá derecho a continuar con la concesión.

Esta disposición es también aplicable a la persona que fuere legataria o donataria de la estación; pero tanto en el caso de herencia como en el de legado o donación, la Superintendencia de Telecomunicaciones podrá declarar caducada la concesión por cualesquiera otra de las causas previstas en el Art. 67 de esta Ley.

Art. 70. La terminación del contrato será notificada por el Superintendente de Telecomunicaciones al concesionario o a su representante legal, según el caso.

El concesionario puede apelar ante el Consejo Nacional de Radiodifusión y Telecomunicaciones, en el término de quince días contados a partir de la recepción de la notificación, cuya resolución causará ejecutoria.

## Título VII

### DE LAS SANCIONES

Art. 71. La Superintendencia de Telecomunicaciones podrá imponer a las estaciones, por infracciones de carácter técnico o administrativo previstas en esta Ley o en el reglamento, las siguientes sanciones:

a) Amonestación escrita;

b) Multa de hasta diez salarios mínimos vitales;

c) Suspensión del funcionamiento, por reincidencia de una misma falta de carácter técnico o administrativo, o por mora en el pago de las tarifas o derechos de la concesión, mientras subsista el problema.

Para la imposición de las sanciones previstas en los literales b) y c) de este artículo, la Superintendencia notificará previamente al concesionario haciéndole conocer la falta o faltas en que hubiere incurrido, para que, en el término de ocho días, presente las pruebas de descargo que la Ley le faculta. Con este antecedente, le impondrá la sanción correspondiente, de haber lugar. El concesionario podrá apelar de esta resolución en el término de ocho días de notificada, ante el Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión, el que podrá

confirmarla, revocarla o modificarla en la siguiente sesión de este organismo; en este caso no procederá el voto del Superintendente de Telecomunicaciones. Si se tratare de suspensión y ésta fuere confirmada o modificada, el concesionario podrá recurrir ante el respectivo Tribunal Distrital de lo Contencioso Administrativo, en la forma prevista en la Ley.

Salvo que, a criterio de la Superintendencia, se hubiere solucionado el problema que motivó la suspensión, ésta quedará sin efecto sólo en el caso de que así lo disponga la resolución en firme del Consejo o sentencia ejecutoriada del Tribunal Distrital de lo Contencioso Administrativo o de la Sala de lo Contencioso Administrativo de la Corte Suprema, en el caso de que cualquiera de las partes hubiere interpuesto el recurso de casación. De lo contrario, se aplicará lo previsto en el literal e) del artículo 67 de esta Ley.

#### Título VIII

#### DISPOSICIONES GENERALES

Art. ... Se respetarán los derechos provenientes de los contratos de concesión de canales o frecuencias, celebrados o en trámite de celebración, con sujeción a la Ley de Radiodifusión y Televisión promulgada en el Registro Oficial No. 785 del 18 de abril de 1975.

Art. ... Las estaciones de radiodifusión y televisión que operaren clandestinamente; esto es, sin autorización otorgada de conformidad con la presente Ley, serán clausuradas y requisados sus equipos, en forma inmediata, por el Superintendente de Telecomunicaciones; quien, además, denunciará tal hecho ante uno de los jueces de lo penal de la respectiva jurisdicción. Comprobada la infracción, los responsables serán sancionados con una pena de dos a cuatro años de prisión, con arreglo a las disposiciones de los Códigos Penal y de Procedimiento Penal.

Art. ... Los recursos destinados a financiar el funcionamiento de la Superintendencia de Telecomunicaciones financiarán, también, las actividades del Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión.

Art. ... La Ley Especial de Telecomunicaciones, como Ley base del sector, prevalecerá sobre las normas de la presente Ley, por cuanto ésta regula sólo una parte del mismo.

### **9.2 REGLAMENTO GENERAL A LA LEY DE RADIODIFUSIÓN Y TELEVISIÓN y su Reforma, dictado mediante Decreto Ejecutivo No. 3398 y publicado en el Registro Oficial No. S-864 17 de enero de 1996 bajo el mandato del Arq. Sixto Durán-Ballén, Presidente de la República.**

#### Capítulo I

#### DISPOSICIONES GENERALES

Art. 1. Los medios, sistemas o servicios de radiodifusión y televisión se regirán por las disposiciones de la Ley de Radiodifusión y Televisión, el Convenio Internacional de Telecomunicaciones vigente, el presente Reglamento, los demás Reglamentos y las Normas Técnicas y Administrativas que expida el Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión sobre la materia, los que tendrán el carácter de obligatorios.

Art. 2. El control técnico y administrativo de las estaciones de radiodifusión y televisión están a cargo de la Superintendencia de Telecomunicaciones y tienen por objeto determinar el correcto funcionamiento de dichas estaciones y cumplimiento de las características autorizadas en la concesión. El CONARTEL podrá solicitar informes sobre estos controles.

Art. 3. Por ser el espectro radioeléctrico patrimonio nacional, el Estado tiene derecho preferente a la utilización de frecuencias radioeléctricas no asignadas, para la instalación y operación de estaciones y sistemas de radiodifusión y televisión, para lo cual el Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión a través de la Superintendencia de Telecomunicaciones, reservará y asignará al Estado, sin ningún otro trámite, frecuencias en las bandas destinadas a prestar este servicio público en el territorio nacional. Estas frecuencias en ningún caso podrán ser asignadas a personas naturales o jurídicas privadas, nacionales o extranjeras.

#### Capítulo II

#### DEFINICIONES

Art. 4. A más de las definiciones establecidas en la Ley de Radiodifusión y Televisión, para la aplicación del presente Reglamento, se utilizarán las siguientes definiciones:

- 1) Radiodifusión: son todos los medios, sistemas o servicios de radiodifusión y televisión;
- 2) Radiodifusión Sonora, que en la Ley de Radiodifusión y Televisión se denomina Radiodifusión: es el servicio de radiocomunicaciones cuyas emisiones sonoras se destinan a ser recibidas directamente por el público en general;
- 4) Estación de radiodifusión o televisión: es un transmisor con su antena e instalaciones accesorias, necesarias para asegurar un servicio de radiodifusión o televisión en un área de operación autorizada;
- 5) Sistema de radiodifusión o televisión: es el conjunto de una estación matriz y sus repetidoras que emiten la misma y simultánea programación con carácter permanente;

- 6) Estación matriz de un sistema de radiodifusión o televisión: es la estación de radiodifusión o televisión que origina la programación;
- 7) Estación repetidora de un sistema de radiodifusión o televisión: es la estación de radiodifusión o televisión que recepta la totalidad de la programación de la estación matriz y la transmite simultáneamente para recepción directa por el público en general;
- 8) Frecuencias auxiliares del servicio de radiodifusión y televisión: son las frecuencias atribuidas a los servicios fijo y móvil y que son necesarias para la operación y funcionamiento de las estaciones y sistemas de radiodifusión y televisión; estas frecuencias corresponden a los enlaces radioeléctricos entre estudio-transmisor, enlaces de conexión ascendente y descendente satelitales y entre estaciones repetidoras así como las frecuencias para operación remota;
- 9) Cadena de radiodifusión o televisión: es la transmisión simultánea por parte de un conjunto de estaciones de radiodifusión o televisión, de un mismo programa para fines específicos no permanentes;
- 10) Sistema de radiodifusión sincrónico en onda media: es el conjunto de estaciones de radiodifusión en onda media que utilizan una misma frecuencia sincronizada en frecuencia y fase para transmitir una misma y simultánea programación, con el fin de cubrir el área de servicio autorizada en forma permanente;
- 12) Concesionario de un medio, sistema o un servicio de radiodifusión: es la persona natural ecuatoriana por nacimiento o la persona jurídica ecuatoriana legalmente establecida en el país, cuyos socios son ecuatorianos por nacimiento, autorizada para prestar servicios de radiodifusión o televisión y que no podrán tener más de 25% de inversión extranjera;
- 13) Asignación: es la determinación técnica por parte de la Superintendencia de Telecomunicaciones, de la frecuencia o canal y de sus características de operación, que servirá para que el CONARTEL conceda esa frecuencia o canal;
- 14) Concesión de un medio, sistema o servicio de radiodifusión: es la autorización que el Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión otorga a través de la Superintendencia de Telecomunicaciones, mediante escritura pública para la operación de una estación o sistema de radiodifusión o televisión, conforme a las características establecidas en la asignación; y,
- 15) Otras definiciones: Otras expresiones técnicas no definidas en este reglamento, tendrán el significado establecido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) sobre la materia.

### Capítulo III

#### DE LA CLASIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES POR EL DESTINO DE LAS EMISIONES

Art. 5. Las estaciones de radiodifusión o televisión se clasifican en las siguientes:

- a) Estaciones públicas; y,
- b) Estaciones comerciales privadas.
- a) Estaciones Públicas. Son las destinadas al servicio colectivo, sin fines de lucro y no pueden cursar publicidad comercial de ninguna naturaleza. Estas estaciones transmitirán programación cultural, educativa y asuntos de interés general, tales como conferencias de índole pedagógico, agrícola, industrial, económico, de desarrollo social, de servicio a la comunidad, de orientación al hogar, es decir que tales programas propicien su desarrollo socioeconómico y cultural, el sano esparcimiento y los valores esenciales de nacionalidad, dentro de un ámbito de integración y solidaridad ciudadana. Dentro de esta definición se encuentran las estaciones de radiodifusión de servicio comunal. Pueden ser estación pública, las de televisión codificada, de televisión por cable, por satélite y de circuito cerrado, de audio, video y datos.
- b) Estaciones comerciales privadas. Son las que tienen capital privado, funcionan con publicidad pagada y persiguen fines de lucro; dentro de esta denominación se encuentran las siguientes estaciones:
1. Estaciones de Radiodifusión o Televisión Libre Terrestre. Son estaciones para difusión unilateral de audio, video y datos. Utilizan ondas electromagnéticas cercanas a la superficie de la tierra y se destinan a ser escuchadas por el público en general.
6. Otras Estaciones de Radiodifusión o Televisión Especiales. Son aquellas estaciones que pueden emitir en forma unilateral a un público predeterminado programas de música ambiental y de servicios especiales como: ayuda en la dirección de tránsito vehicular, búsqueda de personas o cosas, transmisión de mensajes, o auxilios inmediatos, etc.

### Capítulo IV

#### DE LAS CONCESIONES DE RADIODIFUSIÓN COMUNALES

Art. 7. Las concesiones para estaciones de radiodifusión de servicio comunal se otorgarán únicamente para estaciones de onda media y frecuencia modulada en lugares donde no existan concesiones para estaciones nacionales, regionales o locales de onda media o concesiones de frecuencia modulada; y, en cualquier caso siempre que no interfieran con las frecuencias asignadas a otras estaciones. Las características técnicas de operación de estas estaciones serán fijadas en cada caso por la Superintendencia de Telecomunicaciones, una vez que el CONARTEL haya resuelto su concesión, sin sobrepasar los límites de potencia establecidos en la Ley de Radiodifusión y Televisión.

Art. 8. Las comunidades interesadas en obtener la concesión de frecuencia para estaciones de radiodifusión de servicio comunal, además de lo contemplado en este Reglamento deberán presentar los siguientes requisitos:

- a) Documento con el que se acredite la personería jurídica de la comunidad, otorgado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- b) Domicilio del lugar en donde se pretende instalar, operar y transmitir programación regular la estación.
- c) Ubicación y altura de la antena.
- d) Número y lista de miembros que integran la comunidad organizada.
- f) Declaración en donde conste el compromiso de la comunidad organizada de cumplir con el correspondiente Plan Nacional de Distribución de Frecuencias.
- g) Declaración en la que conste que la comunidad organizada, no está incurso en ninguna causal de inhabilidad, incompatibilidad o prohibición de orden constitucional o legal.
- h) Para el caso de que la comunidad actúe a través de apoderado, éste deberá acreditar su calidad de tal, mediante poder elevado a escritura pública, ante Notario de la jurisdicción donde se encuentre ubicada la comunidad.

#### Capítulo V

#### DE LAS CONCESIONES EN GENERAL

Art. 9. El Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión autorizará a través de la Superintendencia de Telecomunicaciones exclusivamente las concesiones de frecuencias para los medios, sistemas o servicios de radiodifusión y televisión, determinados en el Capítulo III Art. 5 del presente Reglamento, de acuerdo a las normas técnicas, administrativas, planes de uso de frecuencias y los convenios internacionales ratificados por el país.

Al efecto la Superintendencia de Telecomunicaciones administrará y controlará todas las bandas del espectro radioeléctrico de los servicios determinados en este reglamento y cumplirá con tal objetivo las demás funciones determinadas en la Ley que rige esta materia.

Art. 10. La concesión de frecuencias se otorgará mediante contrato elevado a escritura pública, que será suscrito por el Superintendente de Telecomunicaciones y el concesionario. Cuando las frecuencias auxiliares del servicio de radiodifusión y televisión para establecer estaciones de repetición no hayan sido concedidas juntamente con las principales, éstas deben ser otorgadas mediante comunicación escrita de la Superintendencia de Telecomunicaciones como constancia de la concesión.

Art. 11. Sin perjuicio a lo establecido en el Art. 10 de la Ley de Radiodifusión y Televisión no se concederá frecuencias de radiodifusión o televisión, en los siguientes casos:

- a) A personas naturales o jurídicas que hayan sido sancionadas con la terminación del contrato y con la consiguiente reversión de la frecuencia al Estado.
- b) A personas naturales o jurídicas ex-concesionarias de radiodifusión o televisión que hayan cedido o vendido los equipos y transferido los derechos de concesión de frecuencias, dentro del plazo de cinco años contados a partir de la fecha de la concesión.
- c) A personas naturales o jurídicas que sin autorización del CONARTEL o de la Superintendencia de Telecomunicaciones, hayan puesto en funcionamiento estaciones de radiodifusión o televisión.

Art. 12. El Presidente del CONARTEL dispondrá la publicación por la prensa sobre la solicitud de la concesión de frecuencia, previo el cumplimiento de todos los requisitos legales, técnicos, y reglamentarios, así como el pago por parte del peticionario a la Superintendencia de Telecomunicaciones del valor de la publicación a efectos de que el público conozca y de ser el caso puedan presentarse las impugnaciones respectivas.

Art. 13. La impugnación por parte de personas particulares sobre el derecho del peticionario a ser concesionario de frecuencia, deberá referirse únicamente a impedimentos de carácter técnico y legal determinados en la Ley de Radiodifusión y Televisión, para lo cual señalarán detalladamente las posibles infracciones cometidas y contenidas en la Ley de Radiodifusión y Televisión y este Reglamento.

Art. 14. El CONARTEL previo informe del Superintendente de Telecomunicaciones, resolverá sobre la concesión o negativa de una frecuencia.

Art. 15. El contrato de concesión tiene un período de duración de diez años, se renovará sucesivamente por períodos iguales.

Art. 16. Los requisitos que se indican en el artículo 20 de la Ley de Radiodifusión y Televisión deberán ser cumplidos y presentados por el peticionario para la concesión de frecuencias de estaciones de radiodifusión o televisión de la siguiente manera:

1. Para solicitar frecuencias o canales de radiodifusión y televisión

- a) Solicitud escrita dirigida al CONARTEL, en la que conste los nombres completos del solicitante y su nacionalidad;
- b) Nombre propuesto para la estación o sistema a instalarse;

- c) Clase de estación o sistema comercial privado, de servicio público o de servicio público comunal;
- d) Banda de frecuencias: de radiodifusión de onda media, onda corta, frecuencia modulada, radiodifusión por satélite, radiodifusión circuito cerrado, televisión VHF o televisión UHF, televisión codificada, televisión por cable, de audio, video o datos, u otros medios, sistemas o servicios de conformidad con la Ley de Radiodifusión y Televisión y este Reglamento;
- e) Estudio de Ingeniería suscrito por un Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones colegiado y registrado en la Superintendencia de Telecomunicaciones;
- f) Ubicación y potencia de la estación o estaciones;
- g) Horario de trabajo;
- h) Dos certificados bancarios que acrediten la solvencia económica del solicitante;
- i) Currículum vitae, para el caso de persona natural;
- j) Partida de nacimiento del solicitante y del cónyuge;
- k) Fotocopias de las cédulas de ciudadanía y certificado de votación de la persona natural o del representante legal de la persona jurídica; y,
- l) Declaración juramentada que el peticionario no se encuentre incurso en ninguna de las limitaciones establecidas en la Ley de Radiodifusión y Televisión en relación con el número de estaciones de las que puede ser concesionario.

La persona jurídica además de lo indicado anteriormente en este artículo, debe presentar los documentos que acrediten su existencia legal y el nombramiento del representante legal. Para el caso de Compañías, Corporaciones o Fundaciones debe adjuntar las partidas de nacimiento de los socios, y de ser el caso, el certificado de porcentaje de inversión extranjera otorgada por la Superintendencia de Compañías.

#### 2. Publicación por la prensa

Una vez que el Consejo conozca la solicitud con el informe del Superintendente de Telecomunicaciones, resolverá la publicación por la prensa sobre la concesión de la frecuencia, para lo cual el peticionario pagará los valores de publicación correspondientes.

#### 3. Resolución para la concesión

Luego de que el Consejo haya aprobado la solicitud, y autorizado la celebración del contrato para la concesión de las frecuencias, para la instalación y operación de medios sistemas o servicios, el interesado deberá presentar los siguientes documentos:

- a) Una garantía en dinero en efectivo o cheque certificado a favor de la Superintendencia de Telecomunicaciones por cada una de las frecuencias que solicita para el fiel cumplimiento de la instalación y operación de la estación o sistema, por el valor equivalente a 20 Salarios Mínimos Vitales del Trabajador en General, vigentes a la fecha de suscripción del contrato;
- b) Título de propiedad de los equipos, a falta de éste la promesa de compraventa, judicialmente reconocida; y
- c) Título de propiedad, o contrato de arrendamiento, de los terrenos en donde se instalará el transmisor de la estación matriz y la (s) repetidora (s).

#### 4. Para la suscripción del contrato

Cuando el Consejo resuelva la concesión de la frecuencia, el interesado deberá presentar el comprobante de pago por los vigentes derechos de concesión de la frecuencia, otorgado por la Dirección Financiera de la Superintendencia de Telecomunicaciones.

Art. 17. El CONARTEL, de considerarlo pertinente, podrá solicitar al peticionario de la concesión de frecuencia, otros documentos que considere necesarios, de acuerdo al servicio que se solicite, según sea el caso.

Art. 18. El término para que el solicitante tramite y suscriba el contrato de concesión, será de quince días contados a partir de la fecha en que el Consejo autorizó la concesión, para lo cual la Superintendencia de Telecomunicaciones emitirá la correspondiente comunicación. Transcurrido este tiempo el CONARTEL procederá a anular el trámite de solicitud de concesión, lo cual será notificado por escrito al interesado.

Art. 19. Para conceder canales de radiodifusión o televisión con tres o más repetidoras o si el concesionario llegare a tener tal número de repetidoras para estaciones o sistemas de estaciones nacionales, la Superintendencia de Telecomunicaciones exigirá al interesado en el contrato respectivo, la instalación y operación de una estación repetidora en la región amazónica o zonas fronterizas o región insular, de acuerdo a la posibilidad técnica, en el lugar y con las características que la Superintendencia de Telecomunicaciones autorice, para lo cual tomará en cuenta en lo posible el área de operación más cercana y la necesidad de esa estación repetidora en ese lugar. Para la instalación de repetidoras en el área insular será necesario hacer uso de enlaces satelitales, siempre que el país tenga disponibilidad de utilizar la capacidad satelital y sus costos comerciales sean adecuados. En caso de incumplimiento de la instalación y operación de la estación repetidora en la región amazónica, zonas fronterizas o región insular, el Consejo a través de la Superintendencia de Telecomunicaciones, unilateralmente dará por terminado el contrato de concesión de frecuencia.

## Capítulo VI

### DE LA RENOVACIÓN DE LAS CONCESIONES

Art. 20. Las concesiones se renovarán sucesivamente por períodos de 10 años, previa resolución del CONARTEL que será notificada por comunicación suscrita por el Superintendente de Telecomunicaciones, previa solicitud del concesionario con treinta días de anticipación al vencimiento del contrato, sin otro requisito que la comprobación de controles técnicos y administrativos regulares de que la estación realiza sus actividades con observancia de la Ley de Radiodifusión y Televisión, los Reglamentos, las Normas y Planes sobre la materia.

Se procederá a la renovación de la concesión de frecuencia, en los siguientes casos:

1. Cuando el Contrato de concesión hubiere sido celebrado mediante escritura pública e inscrito en el registro que para este efecto llevará la Superintendencia de Telecomunicaciones;
2. Cuando el concesionario se halle al día en el pago de las obligaciones económicas determinadas por el CONARTEL, dentro del plazo otorgado;
3. Cuando la estación opere normalmente, esto es, que en el tiempo de vigencia de la concesión, la estación no haya interrumpido su funcionamiento por más de seis meses consecutivos, sin la correspondiente autorización de la Superintendencia de Telecomunicaciones;
4. Cuando el concesionario hubiere solucionado, en el plazo y condiciones fijadas por la Superintendencia de Telecomunicaciones, cualquier problema de orden técnico que afecte al funcionamiento de otras estaciones o servicios de telecomunicaciones;
5. Cuando no se halle pendiente de fallo judicial definitivo la sanción de suspensión de la estación o la cancelación de la frecuencia con que ésta opera;
6. Cuando la estación haya sido instalada y entrado en funcionamiento en el plazo establecido en el contrato;
7. Cuando la estación haya sido arrendada con autorización del CONARTEL;
8. Cuando haya trasladado la estación a otra localidad o ciudad distinta de la concesión con autorización del CONARTEL y se hubiere celebrado el correspondiente contrato modificatorio; y,
9. Cuando la persona jurídica concesionaria no tuviere inversión extranjera por más del 25%. En general si el concesionario no hubiere encomendado parcial o totalmente, la administración u operación de la estación a otras personas naturales, jurídicas o extranjeras.

## Capítulo VII

### DEL ARRENDAMIENTO DE LAS ESTACIONES

Art. 21. El Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión a través de la Superintendencia de Telecomunicaciones, podrá autorizar al concesionario que proceda al arrendamiento de la estación hasta por dos años no renovables, en los siguientes casos:

- a) Por enfermedad grave o prolongada de la persona natural debidamente comprobada, que imposibilite al concesionario administrar personalmente la estación;
- b) Por ausentarse del país el concesionario por un tiempo mayor de tres meses, para lo cual deberá presentar documentos que justifiquen tal hecho; y,
- e) Por desempeñar función o representación pública, para lo cual el concesionario deberá presentar los documentos legales respectivos.

Art. 22. El arrendatario de una estación de radiodifusión o televisión, debe reunir los mismos requisitos que el concesionario.

Art. 23. El concesionario y el potencial arrendatario de una estación o sistema de radiodifusión o televisión, para obtener autorización de arrendamiento, deberán presentar a la Superintendencia de Telecomunicaciones las solicitudes correspondientes con la documentación legal respectiva.

## Capítulo VIII

### DE LA TRANSFERENCIA DE LA CONCESIÓN

Art. 24. El concesionario de una estación de radiodifusión y televisión podrá transferir su concesión a otra persona natural o jurídica, únicamente en el caso de venta de la estación, que incluya la totalidad de sus equipos de transmisión y operación, bienes muebles e inmuebles y activos y pasivos, para lo cual deberá solicitar por escrito a la Superintendencia de Telecomunicaciones la respectiva autorización, con reconocimiento de firma y rúbrica y con indicación del nombre de la persona interesada en adquirir la estación.

Art. 25. El interesado en la compra de la estación deberá solicitar mediante comunicación por escrito a la Superintendencia de Telecomunicaciones, la autorización para adquirirla y el traspaso de concesión de frecuencia y deberá adjuntar la documentación legal correspondiente.

Art. 26. El Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión a través de la Superintendencia de Telecomunicaciones podrá autorizar la compraventa de una estación y la transferencia de la frecuencia o frecuencias de un sistema de radiodifusión o televisión que esté normalmente operando por más de dos años

consecutivos, contados a partir de la fecha de la concesión, y siempre que sea para la misma área de servicio originalmente concedida.

Art. 27. El Superintendente de Telecomunicaciones, cumplidos los requisitos señalados en los artículos anteriores y previa autorización del CONARTEL, otorgará al comprador la concesión de la frecuencia mediante la suscripción de un contrato celebrado por escritura pública.

#### Capítulo IX

#### DE LAS INSTALACIONES

Art. 28. La Superintendencia de Telecomunicaciones concederá el plazo de hasta un año contado a partir de la fecha de suscripción del contrato de concesión, para la instalación, operación y transmisión de programación regular de una estación.

La instalación deberá sujetarse a las condiciones establecidas en el contrato y demás regulaciones sobre la materia. En caso de incumplimiento la Superintendencia de Telecomunicaciones, previa resolución del CONARTEL, sin observar procedimiento alguno y mediante comunicación escrita dará por terminado el contrato y ejecutará la garantía.

Art. 29. El concesionario notificará por escrito a la Superintendencia de Telecomunicaciones la fecha de inicio de emisiones de prueba de la estación, por lo menos con 15 días de anticipación. La Superintendencia de Telecomunicaciones realizará las inspecciones y comprobación técnica necesarias para determinar las características de instalación y operación de la estación. De no existir observación alguna al respecto solicitará al concesionario el título de propiedad de los equipos y una vez presentado procederá a la devolución de la correspondiente garantía.

De no haberse dado cumplimiento a las características técnicas estipuladas en el contrato, la Superintendencia de Telecomunicaciones concederá el plazo de hasta noventa días para que realice las respectivas correcciones. Caso contrario y una vez vencido el nuevo plazo concedido, el CONARTEL declarará el incumplimiento de las obligaciones contractuales mediante la terminación del contrato que constará en una comunicación escrita y ejecutará la garantía rendida, a través de la Superintendencia de Telecomunicaciones.

Art. 30. Los funcionarios de la Superintendencia de Telecomunicaciones para el cumplimiento de sus obligaciones, tendrán libre acceso a todos los estudios e instalaciones de las estaciones de radiodifusión y televisión. El concesionario está obligado a presentar los registros técnicos y más documentos legales que tengan relación con la concesión, así como a otorgar las facilidades requeridas.

Art. 31. Es obligación del concesionario solucionar las causas de interferencia que su estación ocasionare a otras estaciones de radiodifusión o televisión o sistemas de radiocomunicaciones, para lo cual se sujetará al contrato, a la Ley Seguridad Nacional, a la Ley de Radiodifusión y Televisión, a este Reglamento y a Regulaciones Técnicas sobre la materia.

Art. 32. Los concesionarios están obligados a instalar las estaciones con dispositivos de seguridad humana y señalización necesaria para la navegación aérea, conforme las disposiciones sobre la materia y con instrumentos que indiquen los parámetros de la operación de la estación. En un lugar visible de los sitios donde se encuentra ubicada la estación matriz y repetidoras, se colocarán rótulos con el indicativo de la estación.

Art. 33. Para cubrir zonas fronterizas, los concesionarios deberán sujetarse a las normas internacionales de asignación, a las condiciones de los convenios bilaterales o multilaterales vigentes sobre la materia y a las disposiciones de seguridad nacional.

Art. 34. No se autorizará el cambio de ubicación de una estación para servir a otra zona que no sea la autorizada en el contrato de concesión. La Superintendencia de Telecomunicaciones autorizará el cambio de ubicación o la modificación de las características técnicas de una estación dentro de una misma zona.

Art. 35. Para cambiar de ubicación el transmisor o efectuar modificaciones en las instalaciones de las estaciones, el concesionario deberá efectuar la correspondiente solicitud al CONARTEL, organismo que de autorizar este pedido dispondrá la suscripción de un nuevo contrato con la Superintendencia de Telecomunicaciones.

La modificación de potencia o cambio de frecuencia que por razones técnicas sea dispuesta por el CONARTEL, a través de la Superintendencia de Telecomunicaciones, no requieren de la suscripción de un nuevo contrato.

El cambio de domicilio del concesionario, debe ser notificado en forma inmediata.

Art. 36. Los estudios y transmisores de una estación estarán ubicados dentro de la misma zona de servicio autorizada.

Art. 37. La Superintendencia de Telecomunicaciones podrá autorizar la instalación de un transmisor adicional, siempre que se encuentre ubicado en el mismo lugar del transmisor principal. El concesionario no podrá operar la estación con un transmisor adicional desde otro lugar distinto al autorizado, así como tampoco podrá instalar otro estudio en una zona distinta a la autorizada.

Art. 38. Los concesionarios de frecuencias de radiodifusión o televisión y aquellos que obtuvieren la concesión mediante traspasos de derechos de frecuencias, deben instalar los transmisores fuera de la línea perimetral urbana y límites poblados de las ciudades.

Las estaciones de radiodifusión o televisión que por motivos de expansión urbana se encuentren ubicados dentro de una línea perimetral urbana y límites poblados de la ciudad, estarán obligados a reubicar los transmisores. La nueva ubicación de la estación deberá ser previamente autorizada por la Superintendencia de Telecomunicaciones.

#### Capítulo X

##### DE LA POTENCIA

Art. 40. El rango de potencia en el que puedan operar las estaciones de Radiodifusión y Televisión será determinado por el Consejo sobre la base de estudios técnicos de interferencia y calidad de servicio en el área de cobertura de la estación que para el efecto realizará la Superintendencia de Telecomunicaciones.

#### Capítulo XI

##### PLAN NACIONAL DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS

Art. 41. La Superintendencia de Telecomunicaciones elaborará para la aprobación del CONARTEL el Plan Nacional de Distribución de Frecuencias para medios, sistemas y servicios de radiodifusión y televisión.

Art. 42. El Plan será elaborado para las diferentes bandas de frecuencias atribuidas a los medios, sistemas y servicios de radiodifusión y televisión, y constituirá la base para las asignaciones de frecuencias, concesiones y autorizaciones que otorgue el CONARTEL, para el establecimiento y operación de las estaciones y sistemas de radiodifusión y televisión clasificadas en el Capítulo III Art. 5 del presente Reglamento.

Art. 43. El Plan Nacional de Distribución de frecuencias, contendrá, entre otros aspectos, los planes de frecuencias específicos para las estaciones de:

- Radiodifusión en onda media, onda corta, y frecuencia modulada;
- Televisión VHF, UHF, televisión codificada y televisión por cable;
- Radiodifusión y televisión por satélite;
- Transporte de audio, video y datos; y,
- Planes de distribución para las frecuencias auxiliares para radiodifusión y televisión.

#### Capítulo XII

##### DE LAS TARIFAS

Art. 44. Las tarifas y tasas por derechos de concesión que deberá abonar el concesionario a la Superintendencia de Telecomunicaciones de acuerdo al destino de la concesión, serán las que apruebe mediante resolución el Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión.

Art. 45. Para efectos de pago de las tarifas se considera parte integrante de la frecuencia principal un solo radio enlace estudio-transmisor, el cual no está sujeto a pago adicional por concepto de concesión y utilización de frecuencia.

#### Capítulo XVIII

##### DEL TÉRMINO DE LAS CONCESIONES

Art. 75. El CONARTEL resolverá la terminación del contrato de concesión del canal o frecuencia radioeléctrica por las causales previstas en el Art. 67 de la Ley de Radiodifusión y Televisión.

Siempre que el concesionario se allanare a esta medida o que existiera fallo judicial definitivo, la Superintendencia de Telecomunicaciones procederá a la clausura de la estación respectiva, a menos que el concesionario la cerrase voluntariamente.

Art. 76. Para que haya lugar a la terminación de la concesión a que se refiere el literal e) del Art. 67 de la Ley de Radiodifusión y Televisión, la reincidencia de faltas de carácter técnico deberá referirse a una misma infracción de esta naturaleza, durante un mismo año; y tanto en éste como en el caso de suspensión por igual causa, que el concesionario haya agotado las acciones que le faculte la Ley.

Concluido dicho período, sin que la Superintendencia haya impuesto al concesionario ninguna sanción, se entenderá que en el año subsiguiente la falta de carácter técnico ha sido cometida por primera vez y no habrá lugar a la impugnación de reincidencia.

Art. 77. Para el término de la concesión por pérdida de la capacidad civil del concesionario o disolución de la sociedad concesionaria, se requerirá, en su orden, que haya sentencia judicial en firme o resolución ejecutoriada de la Superintendencia de Compañías.

Art. 78. Para dar por terminada la concesión por la causal señalada en el literal i) del Art. 58 de la Ley de Radiodifusión y Televisión, el CONARTEL requerirá de denuncia escrita legalmente formulada y de informe previo del Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas.

Art. 79. En los casos previstos en el Artículo 67 de la Ley de Radiodifusión y Televisión, con excepción del literal b), el CONARTEL podrá resolver de oficio, a petición de sus Miembros o de cualquier persona, el término de la concesión de frecuencia.

#### Capítulo XIX

## DE LAS INFRACCIONES Y SANCIONES

Art. 80. Las infracciones en las que incurran los concesionarios de las estaciones cuya denominación se encuentra especificada en el Capítulo III Art. 5 del presente Reglamento, se clasifican en infracciones de carácter técnico y administrativo.

### CLASE I

Son infracciones técnicas las siguientes:

- a) Instalar la estación sin los dispositivos de seguridad humana, señalización para la navegación aérea y rótulos de identificación de la estación.
- b) Instalar transmisores de la estación matriz y repetidoras sin los correspondientes instrumentos de medida debidamente identificados.

Son infracciones administrativas las siguientes:

- a) Incumplir las disposiciones contenidas en los artículos 47 y 59 de la Ley de Radiodifusión y Televisión, relacionadas con la transmisión de servicios gratuitos de programas de interés social, público o de mensajes e informaciones del Presidente de la República, Presidente del Congreso Nacional, Presidente de la Corte Suprema de Justicia, Presidente del Tribunal Supremo Electoral y de los Ministerios de Estado o funcionarios gubernamentales que tengan este rango.
- b) Incumplir el artículo 56 de la Ley de Radiodifusión y Televisión, relacionado con la publicidad que transmitan las estaciones, la cual debe elaborarse en el país con personal ecuatoriano.
- c) Transmitir publicidad comercial si la estación es de servicio público.
- d) Transmitir permanentemente en idiomas diferentes a los indicados en el artículo 48 de la Ley de Radiodifusión y Televisión, con excepción de la retransmisión de señales extranjeras debidamente autorizadas conforme a este Reglamento.
- e) Uso incorrecto del lenguaje.
- f) No comunicar por escrito a la Superintendencia de Telecomunicaciones el cambio de representante legal para el caso de personas jurídicas concesionarias.
- g) No informar y registrar los cambios que se produzcan en los estatutos de las compañías concesionarias, de acuerdo con lo dispuesto en la Ley de Radiodifusión y Televisión.
- h) No enviar a la Superintendencia de Telecomunicaciones o al Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas, la lista actualizada del personal que labora en la estación de radiodifusión o televisión con la certificación de su afiliación al Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social.
- i) No identificar la estación con nombre y distintivo por lo menos una vez cada media hora.

### CLASE II

Son infracciones técnicas las siguientes:

- a) Impedir el ingreso a las instalaciones de la estación a funcionarios de la Superintendencia de Telecomunicaciones, para la realización de inspecciones, o no presentar a ellos, los registros técnicos y más documentos legales que tengan relación con la concesión.
- b) Realizar emisiones de prueba de la estación sin autorización de la Superintendencia de Telecomunicaciones.
- c) Instalar los estudios de una estación fuera del área de servicio autorizada para el transmisor.
- e) Señalar en forma escrita o verbal características técnicas diferentes a las autorizadas por la Superintendencia de Telecomunicaciones o falsear la verdad en cuanto al origen, simultaneidad del acto, evento, obra u otras características de la programación.
- f) Incumplir la obligación de solucionar las causas de interferencia que ocasionare a otras estaciones de radiodifusión o televisión clasificadas en el Capítulo III del presente Reglamento, a estaciones de otros servicios de radiocomunicaciones legalmente concedidos, a sistemas públicos de telecomunicaciones, estatales o de seguridad.
- g) Realizar cambios de carácter técnico no autorizados por la Superintendencia de Telecomunicaciones y que afecten en forma esencial las características de la emisión.
- h) Operar con características diferentes a las autorizadas por la Superintendencia de Telecomunicaciones.

Son infracciones administrativas las siguientes:

- a) Suspender las emisiones ordinarias por más de ocho días consecutivos, sin autorización de la Superintendencia de Telecomunicaciones.
- b) No notificar a la Superintendencia de Telecomunicaciones la fecha de inicio de operaciones de la estación en el plazo establecido.
- c) Incumplir la disposición legal de promover en la programación diaria la música y los valores artísticos nacionales, programas que no deben atentar contra su idiosincrasia nacional, sus costumbres, aspectos religiosos.
- d) Incumplir la disposición del artículo 57 de la Ley de Radiodifusión y Televisión.

- e) Transmitir programación o avances publicitarios no aptos para todo público en el horario comprendido entre las 06h00 y las 21h00.
- g) Retransmitir programas de otras estaciones de radio y televisión en forma simultánea con carácter permanente, sin que se hayan obtenido las autorizaciones de la estación matriz y de la Superintendencia de Telecomunicaciones.
- h) Transmitir programas sin la calidad artística, cultural y moral conforme lo dispuesto en el Artículo 44 de la Ley de Radiodifusión y Televisión y este Reglamento.
- i) Infringir los artículos 61 ó 63 de la Ley de Radiodifusión y Televisión.
- j) El no cumplimiento de cualesquiera de las obligaciones legales o reglamentarias, constantes en la Ley de Radiodifusión y Televisión y el presente Reglamento.

#### CLASE III

Son infracciones técnicas las siguientes:

- a) Cambiar de ubicación los transmisores o repetidoras sin autorización de la Superintendencia de Telecomunicaciones.
- b) Instalar y operar un transmisor adicional en un lugar distinto al autorizado.
- c) Instalar un estudio adicional al principal en una zona distinta del área de cobertura autorizada.
- d) Incumplir las disposiciones de la Superintendencia de Telecomunicaciones que tengan por objeto resolver problemas de interferencia perjudicial o mejorar el servicio de radiodifusión y televisión, en lo referente a cambios en las características de las estaciones y su ubicación.

Son infracciones administrativas las siguientes:

- a) Realizar actividades prohibidas contempladas en el artículo 58 de la Ley de Radiodifusión y Televisión que no sean tipificadas como infracciones penales y que el Superintendente haya determinado que es de su competencia el juzgarlas.
- b) Transmitir o retransmitir programas, obras, actos o eventos, para lo cual exista el registro de exclusividad en la Superintendencia de Telecomunicaciones.
- c) Contratar asesores técnicos o de programación extranjeros sin autorización del Ministerio de Trabajo y Recursos Humanos.
- e) Incumplir lo dispuesto en el artículo 43 de la Ley de Radiodifusión y Televisión.
- g) Modificar las características técnicas básicas de operación la estación de servicio público o la estación de tipo comercial, sin la correspondiente autorización del CONARTEL.

#### CLASE IV

Son infracciones administrativas las siguientes:

- a) Reincidencia de una misma falta de carácter técnico o administrativo; siempre que la misma haya sido cometida dentro del período de 1 año, o que el concesionario no haya rectificado dentro del plazo que señale la Superintendencia de Telecomunicaciones.
- b) Mora en el pago de las tarifas por más de tres meses consecutivos.

#### CLASE V

Son infracciones técnicas las siguientes:

- a) Suspender las emisiones de una estación por más de 180 días consecutivos, sin autorización de la Superintendencia de Telecomunicaciones.
- b) Cambiar de lugar de operación la estación de servicio público comunal, sin la correspondiente autorización del CONARTEL.
- c) Transmitir en forma permanente la señal de una estación extranjera, con el fin de justificar su funcionamiento.

Son infracciones administrativas las siguientes:

- a) Arrendar la estación sin autorización del CONARTEL, que será otorgada a través de la Superintendencia de Telecomunicaciones.
- b) Traspasar los derechos de la frecuencia a otra persona sin autorización del CONARTEL, que será otorgada a través de la Superintendencia de Telecomunicaciones.
- c) Mora en el pago de las tarifas por seis o más meses consecutivos.
- d) Ceder, gravar, dar en fideicomiso o enajenar total o parcialmente la concesión, los derechos en ella conferidos, instalaciones, servicios auxiliares, dependencias o accesorios a un gobierno o persona extranjera.
- e) Transmitir publicidad comercial si la estación es de servicio público comunal.
- f) El incumplimiento de las sanciones impuestas.
- g) Las demás infracciones estipuladas con terminación o cancelación de la concesión en la Ley de Radiodifusión y Televisión y el presente Reglamento.

Art. 81. Las sanciones se aplicarán de acuerdo a la clase de infracción cometida, conforme se indica a continuación:

Para las infracciones Clase I, se aplicará la sanción de amonestación por escrito.

Para las infracciones Clase II, se aplicará la sanción económica de hasta el 50% del máximo de la multa contemplada en la Ley de Radiodifusión y Televisión.

Para las infracciones Clase III, se aplicará sanción económica del 100% del máximo de la multa contemplada en la Ley de Radiodifusión y Televisión.

Para las infracciones Clase IV, se aplicará la sanción de suspensión de emisiones de la estación hasta 90 días.

Para las infracciones Clase V, se aplicará la sanción de cancelación de la concesión, mediante la terminación del contrato y reversión de la frecuencia al Estado.

Art. 82. En caso de incumplimiento del artículo 10 de la Ley de Radiodifusión y Televisión, la Superintendencia de Telecomunicaciones revertirá al Estado las concesiones otorgadas por incumplimientos que sean motivo de esta infracción.

Art. 83. La Superintendencia de Telecomunicaciones, podrá disponer la clausura de la estación, que no obstante haber sido sancionada con suspensión de emisiones por interferir a otras estaciones o sistemas de telecomunicaciones, no hayan acatado esa disposición, para lo cual oficiará al Intendente o autoridad competente de Policía de la respectiva jurisdicción donde funcione la estación y de ser necesario colaborará con el asesoramiento de técnicos.

Art. 84. La persona natural o jurídica concesionaria que incurra en las infracciones señaladas en las clases I, II, III y IV serán sancionadas por el Superintendente de Telecomunicaciones, para el juzgamiento de infracciones de la clase II, III y IV, se procederá conforme al procedimiento contemplado en el Artículo 71 segundo inciso de la Ley de Radiodifusión y Televisión de la siguiente manera:

Notificación: La notificación se hará por boleta en el domicilio mercantil o civil del infractor haciéndole conocer la falta o faltas en que hubiera incurrido. Cuando no se conociere el domicilio o se trate de notificar a los herederos del infractor, la notificación se hará mediante una publicación en un periódico de la capital de provincia de su domicilio, cuando hubiera, y además en uno de los periódicos de mayor circulación en el país. Las notificaciones por la prensa podrán hacerse individual o colectivamente, cuando fueren varios los presuntos infractores.

Contestación: El presunto infractor tendrá el término de ocho días contados a partir de la fecha de notificación respectiva para contestarla y presentar las pruebas de descargo que la Ley le faculta y ejercer plenamente su derecho de defensa.

Resolución: El Superintendente de Telecomunicaciones dictará su resolución en el término de quince días contados desde el vencimiento del término para contestar, haya o no recibido la contestación.

Las resoluciones contendrán la referencia expresa a las disposiciones legales y reglamentarias aplicadas y a la documentación y actuaciones que las fundamenten.

El trámite para que proceda la terminación de la concesión por resolución del CONARTEL será el previsto en el artículo 67 inciso 2 de la Ley de Radiodifusión y Televisión.

Art. 85. El CONARTEL, resolverá las apelaciones que presenten los concesionarios en el término de ocho días de haber sido notificado con la resolución de sanción impuesta por la Superintendencia de Telecomunicaciones, el que podrá confirmarla, revocarla o modificarla en la siguiente sesión de este organismo, en este caso, no procederá el voto del Superintendente de Telecomunicaciones.

Art. 86. La Superintendencia de Telecomunicaciones mantendrá un libro de registros de sanciones, en el que se inscribirán las sanciones impuestas a los concesionarios, la causa, la fecha y el número de oficio o Resolución con el que se ha impuesto la sanción.

Art. 87. Para el pago a la Superintendencia de Telecomunicaciones del valor de la sanción económica se concederá al concesionario el plazo de 30 días, caso contrario, la Superintendencia de Telecomunicaciones iniciará el cobro por la vía coactiva.

Art. 88. Las personas naturales o jurídicas que arbitrariamente instalen y operen estaciones de radiodifusión o televisión sin autorización del CONARTEL o de la Superintendencia de Telecomunicaciones, serán clausuradas a pedido del CONARTEL o de la Superintendencia de Telecomunicaciones, por el Intendente o autoridad competente de Policía de la respectiva jurisdicción donde se encuentre instalada la estación.

Los equipos de la estación serán requisados por la Superintendencia de Telecomunicaciones y pasarán a ser de propiedad de la misma y por tanto, constituirán parte de su patrimonio.

Al infractor no se le concederá ninguna frecuencia de radiodifusión o televisión.

#### DISPOSICIÓN FINAL

ÚNICA. De conformidad con los incisos segundo y tercero del artículo 42 de la Ley Reformatoria a la Ley Especial de Telecomunicaciones y de acuerdo con las reformas a la Ley de Radiodifusión y Televisión, el presente Reglamento prevalecerá sobre cualquier otro reglamento que versare sobre los medios, sistemas o servicios de radiodifusión y televisión regulados exclusivamente en el presente Reglamento.

**9.3 ACTUALIZACIÓN DE LOS VALORES DE TARIFAS POR CONCESIÓN Y UTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS, CANALES Y OTROS SERVICIOS DE RADIODIFUSIÓN Y TELEVISIÓN, publicado en Registro Oficial No. 224 del 1 de julio de 1999 y su reforma publicada en Registro Oficial No. 66 del 27 de abril del 2000.**

**Resolución No. 886-CONARTEL-99 (Registro Oficial 224, 1-VII-99)**

Art. 1. Los valores que a continuación constan, han sido determinados en cinco dólares de los Estados Unidos de América.

Nota: El Art. 4 de la Res. 1063-CONARTEL-00 (R.O. 66, 27-IV-2000), dispone: La presente reforma se aplicará en el cobro de las planillas correspondientes al segundo trimestre del presente año.

**Radiodifusión Sonora abierta**

Servicio	Concesión	Mensualidad
Quito y Guayaquil	200	2
Capital de provincia	75	0.75
Cabecera Cantonal	50	0.5
Los demás	10	0.25

a) Por cada frecuencia principal.

Art. 2. DE LA APLICACIÓN Y NOTAS ACLARATORIAS:

- 1) La facturación se realiza por concesionario, por cada contrato desglosado y cada servicio;
- 2) Los valores serán facturados trimestralmente, pagaderos hasta tres días antes del siguiente trimestre;
- 3) El reclamo sobre valores mal facturados suspende el cobro de intereses por mora hasta que exista resolución en firme por parte del CONARTEL.
- 4) Los valores serán cancelados al CONARTEL, directamente en las cuentas Banco que la Institución señale;
- 5) La primera facturación mensual corresponderá a partir del siguiente mes de la fecha de registro del respectivo contrato en la SUPTTEL, quien bajo su responsabilidad comunicará al día siguiente al CONARTEL sobre dicho registro con el documento respectivo.
- 6) Valores cobrados en exceso serán acreditados como prepago;
- 7) El derecho de concesión de una frecuencia, implica el ancho de banda necesario para el cumplimiento de dicho contrato;
- 8) La utilización de subportadoras como enlaces tendrán la aplicación del presente tarifario.
- 9) La renovación de un contrato no implica una nueva concesión ni el pago de derechos y se regirán de acuerdo a la Ley; y,
- 10) En la nomenclatura utilizada como "LOS DEMÁS" corresponde a cantones fronterizos, de áreas o zonas orientales, insular y estaciones de baja potencia de acuerdo a las definiciones contempladas en las resoluciones del CONARTEL.

Art. 3. DISPOSICIÓN GENERAL:

En caso de duda sobre la aplicación del presente Reglamento, el Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión será quien se pronuncie y defina la situación.

**Resolución No. 1593-CONARTEL-2000 (Registro Oficial 211, 24-XI-2000)**

Art. 1. Todo concesionario de radiodifusión y televisión pagará al CONARTEL las tarifas correspondientes por cada señal o servicio, de conformidad con la Resolución No. 886.

Art. 2. Los concesionarios de radiodifusión y televisión, cuyas señales sean transportadas por terceros, con sujeción a la Resolución No. 886, pagarán al CONARTEL la respectiva tarifa, en forma independiente de las obligaciones del tercero.

Art. 3. Tómese en cuenta y obsérvese lo dispuesto en las reformas tarifarias promulgadas con la Resolución No. 1063-CONARTEL-2000 en Registro Oficial 66 de 27 de abril del 2000.

## **9.4 LEY ESPECIAL DE TELECOMUNICACIONES, dictada por el Congreso Nacional como Ley No. 184 y publicada en el Registro Oficial No. 996 del 10 de agosto de 1992, y su reforma publicada en el Registro Oficial No. 770 el 30 de agosto de 1995.**

### DISPOSICIONES FUNDAMENTALES

Art. 1 **Ámbito de la Ley.** La presente Ley Especial de Telecomunicaciones tiene por objeto normar en el territorio nacional la instalación, operación, utilización y desarrollo de toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, imágenes, sonidos e información de cualquier naturaleza por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos.

Los términos técnicos de telecomunicaciones no definidos en la presente Ley, serán utilizados con los significados establecidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

Art. 2 **Espectro radioeléctrico.** El espectro radioeléctrico es un recurso natural de propiedad exclusiva del Estado y como tal constituye un bien de dominio público, inalienable e imprescriptible, cuya gestión, administración y control corresponde al Estado.

Art. 3. **Administración del espectro.** Las facultades de gestión, administración y control del espectro radioeléctrico comprenden, entre otras, las actividades de planificación y coordinación, la atribución del cuadro de frecuencias, la asignación y verificación de frecuencias, el otorgamiento de autorizaciones para su utilización, la protección y defensa del espectro, la comprobación técnica de emisiones radioeléctricas, la identificación, localización y eliminación de interferencias perjudiciales, el establecimiento de condiciones técnicas de equipos terminales y redes que utilicen en cualquier forma el espectro, la detección de infracciones, irregularidades y perturbaciones, y la adopción de medidas tendientes a establecer el correcto y racional uso del espectro, y a reestablecerlo en caso de perturbación o irregularidades.

Art. 4 **Uso de frecuencias.** El uso de frecuencias radioeléctricas para los servicios de radiodifusión y televisión requieren de una concesión previa otorgada por el Estado y dará lugar al pago de los derechos que corresponda. Cualquier ampliación, extensión, renovación o modificación de las condiciones, requiere de nueva concesión previa y expresa.

La concesión y la autorización para el uso de frecuencias radioeléctricas tendrán un plazo definido que no podrá exceder de cinco años, renovables por períodos iguales.

Art. 5 **Normalización y homologación.** El Estado formulará, dictará y promulgará reglamentos de normalización de uso de frecuencias, explotación de servicios, industrialización de equipos y comercialización de servicios, en el área de telecomunicaciones, así como normas de homologación de equipos terminales y otros equipos que se considere conveniente acordes con los avances tecnológicos, que aseguren la interconexión entre las redes y el desarrollo armónico de los servicios de telecomunicaciones.

Art. 6 **Naturaleza del servicio.** Las telecomunicaciones constituyen un servicio de necesidad, utilidad y seguridad públicas y son de atribución privativa y de responsabilidad del Estado.

Las telecomunicaciones relacionadas con la defensa y seguridad nacionales son de responsabilidad de los Ministerios de Defensa Nacional y de Gobierno.

Los servicios de radiodifusión y de televisión se sujetarán a la Ley de Radiodifusión y Televisión y a las disposiciones pertinentes de la presente Ley.

Art. 7 **Función básica.** Es atribución del Estado dirigir, regular y controlar todas las actividades de telecomunicaciones.

Art. 11 **Uso prohibido.** Es prohibido usar los medios de telecomunicación contra la seguridad del Estado, el orden público, la moral y las buenas costumbres. La contravención a esta disposición será sancionada de conformidad con el Código Penal y más leyes pertinentes.

Art. 13 **Regulación del espectro radioeléctrico.** Es facultad privativa del Estado el aprovechamiento pleno de los recursos naturales como el espectro de frecuencias radioeléctricas, y le corresponde administrar, regular y controlar la utilización del espectro radioeléctrico en sistemas de telecomunicaciones en todo el territorio ecuatoriano, de acuerdo con los intereses nacionales.

Art. 17 **Protección contra interferencias.** INECEL, las Empresas Eléctricas y cualquier otra persona natural o jurídica que establezcan líneas de transmisión o de distribución de energía eléctrica o instalaciones radioeléctricas de cualquier tipo, están obligadas a evitar, a su costo, cualquier interferencia que pudiera producirse por efecto de dichas instalaciones sobre el sistema de telecomunicaciones, ya sea adoptando normas apropiadas para el trazado y construcción de las mismas o instalando los implementos o equipos necesarios para el efecto.

### DE LAS TASAS Y TARIFAS

Art. 23 **Tasas y tarifas por concesiones y autorizaciones.** Las tasas y tarifas por concesiones y autorizaciones para instalar y explotar los servicios radioeléctricos se fijarán por el Estado conforme a lo dispuesto en la Ley de Radiodifusión y Televisión y en los contratos de concesión o de autorización correspondientes.

## **9.5 REGLAMENTO GENERAL A LA LEY ESPECIAL DE TELECOMUNICACIONES REFORMADA, publicada en el Registro Oficial No. 404 del 4 de septiembre del 2001.**

### ALCANCE Y DEFINICIONES

Art. 1. El presente reglamento tiene como finalidad establecer las normas y procedimientos generales aplicables a las funciones de planificación, regulación, gestión y control de la prestación de servicios de telecomunicaciones y la operación, instalación y explotación de toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, imágenes, datos y sonidos por cualquier medio; y el uso del espectro radioeléctrico.

Art. 2. Las definiciones de los términos técnicos de telecomunicaciones serán las establecidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT, la Comunidad Andina de Naciones - CAN, la Ley Especial de Telecomunicaciones y sus reformas y este reglamento.

### DEL RÉGIMEN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

Art. 47. El espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado perteneciente al dominio público del Estado; en consecuencia es inalienable e imprescriptible. La planificación, administración y control de su uso corresponde al Estado a través del CONATEL, la Secretaría y la Superintendencia en los términos de la Ley Especial de Telecomunicaciones, sus reformas y este reglamento y observando las normas y recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

Art. 48. El uso del espectro deberá observar los siguientes principios:

- a) El Estado debe fomentar el uso y explotación del espectro radioeléctrico y de los servicios de radiocomunicación, de una manera racional y eficiente a fin de obtener el máximo provecho;
- c) Las decisiones sobre las concesiones de uso del espectro deben hacerse en función del interés público, con total transparencia y buscando la mayor eficiencia en su asignación, evitando la especulación y garantizando que no existan interferencias perjudiciales en las asignaciones que corresponda;
- g) En caso necesario, el CONATEL podrá reasignar o reducir una asignación de espectro hecha a favor de un concesionario, lo que le dará derecho a una asignación alternativa de espectro y a una justa indemnización, de conformidad con las normas del presente reglamento.

Art. 49. El CONATEL establecerá el Plan Nacional de Frecuencias, incluyendo la atribución de bandas a los distintos servicios y su forma de uso, la asignación de frecuencias y el control de su uso. Todos los usuarios del espectro radioeléctrico deberán cooperar para eliminar cualquier interferencia perjudicial.

La administración del espectro radioeléctrico perseguirá los siguientes objetivos:

- a) Optimizar el uso del espectro radioeléctrico;
- b) Permitir el desarrollo tecnológico de las telecomunicaciones del Ecuador;
- c) Garantizar el uso de las frecuencias sin interferencias perjudiciales;
- d) Evitar la especulación con la asignación de frecuencias;
- e) Asegurar el acceso igualitario y transparente al recurso; y,
- f) Reservar los recursos del espectro necesarios para los fines de seguridad nacional y seguridad pública.

Art. 50. Todos los aspectos relativos a la regulación y control de los medios, sistemas y servicios de radiodifusión y televisión se sujetarán a la Ley de Radiodifusión y Televisión y sus reglamentos.

En cumplimiento con la Disposición General, artículo innumerado 7, de la Ley de Radiodifusión y Televisión, el CONATEL conocerá y resolverá en última instancia los conflictos de competencia que pudieran surgir de la aplicación de la Ley Especial de Telecomunicaciones y de la Ley de Radiodifusión y Televisión y así como sus respectivos reglamentos.

El CONATEL, en nombre del Estado ecuatoriano asignará las bandas de frecuencia que serán administradas por el CONARTEL, el que podrá autorizar su uso, únicamente sobre dichas bandas, aplicando las normas del presente reglamento.

Art. 56. El CONATEL autorizará a la Secretaría la reasignación de una frecuencia o una banda de frecuencias que haya sido previamente asignada por las siguientes causales:

- a) Por la aplicación del Plan Nacional de Frecuencias;
- b) Cuando así lo exija el interés público;
- c) Cuando surja la necesidad por aplicación de tratados o acuerdos internacionales;
- d) Por razones de seguridad nacional; y,
- e) Cuando nuevas tecnologías o la solución de problemas de interferencia técnica, lo hagan necesario.

Los concesionarios de las frecuencias reasignadas tendrán un plazo máximo de diez (10) meses para ubicarse en las nuevas frecuencias, contado a partir de la fecha del pago de la indemnización por parte del nuevo usuario de la frecuencia.

El monto de la indemnización será acordado por las partes y en el evento de que ello no ocurra será fijado por el CONATEL, en base de la inversión que se requiera para la compra e instalación de nuevos equipos o la reprogramación de los existentes, para operar en condiciones similares.

## 9.6 ACUERDO Regional de Río de Janeiro de 1981 sobre el servicio de radiodifusión por ondas hectométricas en la Región 2.

La República del Ecuador, como Miembro de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, suscribió las Actas Finales de la Conferencia Administrativa Regional de Radiodifusión por Ondas Hectométricas, Región 2, Río de Janeiro, 1981, de la cual es parte el ACUERDO sobre el servicio de radiodifusión por ondas hectométricas en la Región 2.

Las disposiciones del ACUERDO son aplicables a la banda de frecuencias comprendida entre 535 kHz y 1605 kHz, atribuida al servicio de radiodifusión conforme el Artículo 8 del Reglamento de Radiocomunicaciones y adoptadas a reserva de la aprobación por las autoridades competentes y está en vigor a partir del 1 de enero de 1982.

### CAPÍTULO 1

#### Definiciones y símbolos

##### 1. Definiciones

Además de las definiciones establecidas por el Reglamento de Radiocomunicaciones, en este acuerdo se consideran las siguientes definiciones y símbolos:

##### 1.1 Canal de radiodifusión en modulación de amplitud

Una parte del espectro de frecuencias igual a la anchura de banda necesaria para estaciones de radiodifusión sonora moduladas en amplitud, que se caracteriza por el valor nominal de la frecuencia portadora situada en el centro de dicha parte del espectro.

##### 1.2 Interferencia objetable

Es la interferencia ocasionada por una señal que excede la máxima intensidad de campo admisible dentro del contorno protegido, de conformidad con los valores determinados según las disposiciones de este anexo.

##### 1.3 Contorno protegido

Línea continua que limita las zonas de servicio primaria o secundaria protegidas contra interferencias objetables.

##### 1.4 Zona de servicio primaria

Zona de servicio delimitada por el contorno dentro del cual el nivel calculado de la intensidad de campo de la onda de superficie está protegido contra la interferencia objetable.

##### 1.5 Zona de servicio secundaria

Zona de servicio delimitada por el contorno dentro del cual el nivel calculado de la intensidad de campo de la onda ionosférica durante el 50% del tiempo está protegido contra la interferencia objetable.

##### 1.6 Intensidad de campo nominal utilizable ( $E_{nom}$ )

Valor mínimo convencional de la intensidad de campo necesaria para proporcionar una recepción satisfactoria en condiciones especificadas en presencia de ruido atmosférico, de ruido artificial y de interferencia debida a otros transmisores. El valor de la intensidad de campo nominal utilizable ha sido empleado como referencia en planificación.

##### 1.7 Intensidad de campo utilizable ( $E_u$ )

Valor mínimo de la intensidad de campo necesaria para proporcionar una recepción satisfactoria en condiciones especificadas en presencia de ruido atmosférico, de ruido artificial y de interferencia en una situación real (resultante de un plan de asignación de frecuencias).

##### 1.8 Relación de protección en audiofrecuencia (o relación de protección AF)

Valor mínimo convencional de la relación señal/interferencia en audiofrecuencia que corresponde a una calidad de recepción definida subjetivamente. Esta relación puede tener diferentes valores según el tipo de servicio deseado.

##### 1.9 Relación de protección en radiofrecuencia

Valor de la relación señal deseada/señal interferente en radiofrecuencia que, en condiciones bien determinadas, permite obtener la relación de protección en audiofrecuencia a la salida de un receptor. Estas condiciones determinadas comprenden diversos parámetros tales como la separación de frecuencia entre la portadora deseada y la portadora interferente, las características de la emisión (tipo y porcentaje de modulación, etc), niveles de entrada y salida del receptor y las características del mismo (selectividad, sensibilidad a la intermodulación, etc).

##### 1.10 Estación de clase A

Aquella destinada a cubrir extensas zonas de servicio primarias y secundarias y que está protegida, por tanto, contra interferencias.

##### 1.11 Estación de clase B

Aquella destinada a cubrir, dentro de su zona de servicio primaria, a uno o varios centros de población las áreas rurales contiguas a los mismos y que está protegida, por tanto contra interferencias.

*1.12 Estación de clase C*

Aquella destinada a cubrir, dentro de su zona de servicio primaria, a una ciudad o población y las áreas suburbanas contiguas y que está protegida, por tanto, contra interferencias.

*1.13 Operación diurna*

Es la operación entre las horas locales de salida y puesta del sol.

*1.14 Operación nocturna*

Es la operación entre las horas locales de puesta y salida del sol.

*1.15 Red sincronizada*

Dos o más estaciones de radiodifusión cuyas frecuencias portadoras son idénticas y que emiten el mismo programa simultáneamente.

En una red sincronizada la diferencia entre las frecuencias portadoras de dos transmisores cualesquiera no debe exceder de 0.1 Hz. El retardo de modulación entre dos transmisores cualesquiera de la red no debe rebasar 100  $\mu$ s, medido en cualquiera de los dos emplazamientos.

*1.16 Potencia de una estación*

Potencia de la portadora que suministra sin modulación a la antena.

*1.17 Onda de superficie*

Onda electromagnética que se propaga por la superficie de la Tierra, o cerca de ella, y que no ha sido reflejada por la ionosfera.

*1.18 Onda ionosférica*

Onda electromagnética que ha sido reflejada por la ionosfera.

*1.19 Intensidad de campo de la onda ionosférica, 10% del tiempo*

Es la intensidad de campo de la onda ionosférica durante la hora de referencia que se excede el 10% de las noches del año. La hora de referencia es el periodo de una hora que comienza una hora y media después de la puesta del sol y termina dos horas y media después de la puesta del sol, en el punto medio del menor trayecto de círculo máximo.

*1.20 Intensidad de campo de la onda ionosférica, 50% del tiempo*

Es la intensidad de campo de la onda ionosférica durante la hora y referencia que se excede el 50% de las noches del año. La hora de referencia es el período de una hora que comienza una hora y media después de la puesta del sol y termina dos horas y media después de la puesta del sol, en el punto medio del menor trayecto de círculo máximo.

*1.21 Intensidad de campo característica ( $E_c$ )*

Intensidad de campo, a una distancia de referencia de 1 km en una dirección horizontal, de la señal de onda de superficie propagada a través de un suelo perfectamente conductor cuando la potencia de la estación es de 1 kw, teniendo en cuenta las pérdidas de una antena real.

*Nota:*

a) la ganancia (G) de la antena transmisora con relación a una antena vertical corta ideal, está dada en dB por la siguiente ecuación:

$$G = 20 \log \frac{E_c}{300}$$

Donde  $E_c$  está en mV/m.

b) la potencia radiada aparente referida a una antena vertical corta está dada en dB (1kw) por la siguiente fórmula:

$$p.r.a.v. = 10 \log P_1 + G$$

Donde:  $P_1$  es la potencia de la estación en kw,

*Símbolos*

Hz: hertzio

kHz: kilohertzio

w: vatio

kw: kilovatio

mV/m: milivoltio/metro

$\mu$ V/m: microvoltio/metro

dB: decibelio  
 dB( $\mu\text{V/m}$ ): decibelios relativos a  $1 \mu\text{V/m}$   
 dB(kw): decibelios relativos a 1 kw  
 mS/m: milisiemens/metro

## CAPÍTULO 2

### Propagación de la onda de superficie

#### 2.1. Conductividad del suelo

2.1.1 El Atlas de conductividad del suelo contiene la información comunicada a la IFRB en cumplimiento de una decisión de la Primera Reunión (Buenos Aires, 1980), las modificaciones introducidas durante la Segunda Reunión (Río de Janeiro, 1981) y las modificaciones presentadas de conformidad con las disposiciones del punto 2.1.3 siguiente.

2.1.2 El Atlas se presenta como sigue:

2.1.2.1 Unos mapas en gran escala de la conductividad del suelo adjuntos a cada copia firmada de las Actas Finales.

2.1.2.2 Una reproducción a escala reducida de estos mapas.

2.1.2.3 Una versión digitalizada, mantenida en una base de datos de computador por la IFRB.

2.1.3 Cuando una administración notifique a la IFRB datos destinados a modificar el Atlas, la IFRB informará al respecto a todas las administraciones que tengan asignaciones en la Región 2. Transcurridos 90 días a partir de la fecha de la comunicación de esta información por la IFRB, esta modificará el Atlas y comunicará las modificaciones a todas las administraciones.

2.1.4 En ningún momento se podrá pedir el cambio de una asignación inscrita en el Plan como resultado de la incorporación de estos datos.

2.1.5 Toda propuesta de modificación del Plan se evaluará sobre la base de los valores existentes en el Atlas en la fecha en que la propuesta fue recibida por la IFRB.

#### 2.2 Curvas de intensidad de campo para la propagación por onda de superficie

Para determinar la intensidad de campo por onda de superficie se utilizarán las gamas de frecuencias siguientes en kHz:

540 – 560	660 – 680	820 – 850	1040 – 1100	1340 - 1420
570 – 590	690 – 710	870 – 910	1110 – 1170	1430 - 1510
600 – 620	720 – 760	920 – 960	1180 – 1240	1520 - 1610
630 – 650	770 – 810	970 – 1030	1250 - 1330	

#### 2.3 Cálculo de la intensidad de campo de la onda de superficie

##### 2.3.1 Caso de un suelo de conductividad homogénea

La componente vertical de la intensidad de campo eléctrico para un trayecto homogéneo está representada en gráficos como función de la distancia para diversos valores de conductividad del suelo.

La distancia en kilómetros se indica en abscisas en escala logarítmica. La intensidad de campo eléctrico se representa en escala lineal en las ordenadas, en dB con respecto a  $\mu\text{V/m}$ . Los gráficos correspondientes se normalizan para una intensidad de campo característica de  $100 \text{ mV/m}$ , que corresponde a una potencia radiada aparente referida a una antena vertical corta (p.r.a.v.) de  $-9.5 \text{ dB (kw)}$ . Se supone que la antena está situada sobre una superficie de conductividad perfecta.

Para los sistemas de antenas omnidireccionales que tienen campos característicos distintos, es preciso hacer correcciones de acuerdo con las expresiones siguientes:

$$E = E_0 \times \frac{E_c}{100} \times \sqrt{P}$$

Si las intensidades de campo se expresan en  $\text{mV/m}$ , y

$$E = E_0 + E_c - 100 + 10 \log P$$

Si las intensidades de campo se expresan en dB ( $\mu\text{V/m}$ ).

Para los sistemas de antenas direccionales, debe efectuarse la corrección aplicando las siguientes expresiones:

$$E = E_0 \times \frac{E_R}{100}$$

Si las intensidades de campo se expresan en mV/m, y

$$E = E_0 + E_R - 100$$

Si las intensidades de campo se expresan en dB ( $\mu\text{V/m}$ ).

Donde

- E: intensidad de campo eléctrico resultante
- E<sub>0</sub>: intensidad del campo eléctrico representado en gráficos
- E<sub>R</sub>: intensidad de campo radiada real en un determinado acimut a 1 km
- E<sub>d</sub>: intensidad de campo característica
- P: potencia de la estación en kw

Tanto para los sistemas omnidireccionales como direccionales, debe encontrarse el valor E<sub>R</sub>. En los sistemas omnidireccionales E<sub>R</sub> puede determinarse recurriendo a las siguientes expresiones:

$$E_R = E_c \sqrt{P}$$

Si las intensidades de campo se expresan en mV/m, y

$$E_R = E_c + 10 \log P$$

Si las intensidades de campo se expresan en dB ( $\mu\text{V/m}$ ).

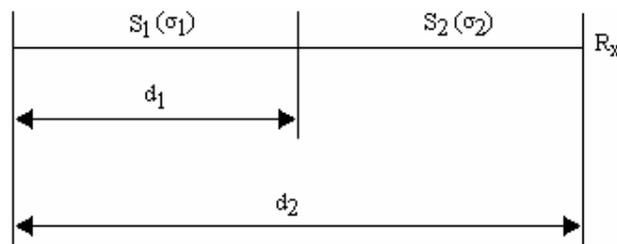
Para determinar la intensidad de campo a una distancia dada, la escala se coloca a esa distancia dada con su punto 100 dB ( $\mu\text{V/m}$ ) sobre la curva de conductividad apropiada. El valor E<sub>R</sub> se encuentra entonces en la escala, el punto sobre el gráfico subyacente (que está debajo del punto E<sub>R</sub> de la escala) indica la intensidad de campo a la distancia dada.

Para determinar la distancia a una intensidad de campo dada, se encuentra el valor E<sub>R</sub> en la escala móvil y ese punto se coloca directamente al nivel de la Intensidad de campo dada, 100 dB ( $\mu\text{V/m}$ ) coincide con la curva de conductividad aplicable. Puede leerse entonces la distancia en la abscisa del gráfico subyacente.

### 2.3.2 Caso de un suelo de conductividad no homogénea

En este caso se utilizará el método de la distancia equivalente o método de Kirke.

Sea un trayecto con secciones S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub>, de longitudes d<sub>1</sub> y d<sub>2</sub> y conductividades  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  respectivamente, como se muestra en la siguiente figura:



El método se aplica de la siguiente forma:

- a) Considerando primero la sección S<sub>1</sub>, se lee en el gráfico correspondiente a la frecuencia de operación la intensidad de campo correspondiente a la conductividad  $\sigma_1$  a la distancia d<sub>1</sub>;
- b) Como la intensidad de campo permanece constante en la discontinuidad del suelo, su valor inmediatamente después del punto de discontinuidad debe ser el mismo valor obtenido en a). Como la conductividad en la segunda parte del trayecto es  $\sigma_2$ , utilizando el mismo gráfico que en a), en la curva

- correspondiente a la conductividad  $\sigma_2$ , se halla la distancia equivalente a la que se obtendría la misma intensidad de campo obtenida en a). La distancia equivalente es  $d$ . La distancia  $d$  será mayor que  $d_1$  cuando  $\sigma_2$  sea mayor que  $\sigma_1$ . En caso contrario  $d$  será mayor que  $d_1$ ;
- c) La intensidad de campo a la distancia real  $d_2$  se obtiene a partir de la curva correspondiente a la conductividad  $\sigma_2$ , similar a la que se obtiene a la distancia equivalente  $d + (d_2 - d_1)$ ;
- d) Para secciones sucesivas con conductividades diferentes se repite el procedimiento de b) y c).

### CAPÍTULO 3

#### Propagación por onda ionosférica

Para el cálculo de la intensidad de campo de la onda ionosférica se utilizará el método que se describe a continuación. (En el Acuerdo no se tienen en cuenta la ganancia debida al mar y la pérdida adicional por acoplamiento de polarización).

##### 3.1 Lista de símbolos

- $d$ : menor distancia de trayecto de círculo máximo (km)  
 $E_c$ : intensidad de campo característica (mV/m a 1 km para 1 kw)  
 $f(\theta)$ : radiación expresada en forma de fracción de su valor cuando  $\theta' = 0$  (cuando  $\theta = 0$ ,  $f(\theta)' = 1$ )  
 $f$ : frecuencia (kHz)  
 $F$ : mediana anual de la intensidad de campo de la onda ionosférica sin corrección, (dB( $\mu$ V/m))  
 $F_c$ : intensidad de campo característica de 100 mV/m  
 $F(50)$ : intensidad de campo de la onda ionosférica, 50% del tiempo (dB( $\mu$ V/m))  
 $F(10)$ : intensidad de campo de la onda ionosférica, 10% del tiempo (dB( $\mu$ V/m))  
 $P$ : potencia de la estación (kw)  
 $\theta$ : ángulo de elevación con respecto al plano horizontal (grados)

##### 3.2 Procedimiento general

La radiación en el plano horizontal de una antena omnidireccional alimentada con 1 kw (intensidad da campo característica,  $E_c$ ) se obtiene por datos del diseño.

El ángulo de elevación  $\theta$  está dado por:

$$\theta = \arctg\left(0,00752 \cot g \frac{d}{444,54}\right) - \frac{d}{444,54} \quad \text{grados} \quad (1)$$

$$0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$$

Se supone que la Tierra es una esfera uniforme con un radio efectivo de 6367.6 km y que la reflexión ocurre a una altura mínima de la ionosfera de 96.5 km.

La radiación  $f(\theta)$  expresada en fracción de su valor cuando  $\theta = 0$  para el ángulo de elevación considerado  $\theta$ .

El producto  $E_c f(\theta) \sqrt{P}$  queda ahora para una antena omnidireccional. Para un sistema direccional de antenas  $E_c f(\theta) \sqrt{P}$  puede determinarse a partir del diagrama de radiación del sistema.

$E_c f(\theta) \sqrt{P}$  es la intensidad de campo a 1 km, bajo el ángulo de elevación y en el acimut correspondientes.

La intensidad de campo de la onda ionosférica sin corrección  $F$  está dada por;

$$F = F_c + 2 \log \frac{E_c f(\theta) \sqrt{P}}{100} \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (2)$$

Nótese que para distancias mayores de 4250 km,  $F_c$  puede expresarse por

$$F = \frac{231}{3 + d/100} - 35,5 \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (3)$$

##### 3.3 Intensidad de campo de la onda ionosférica, 50% del tiempo

La intensidad de campo anual de la onda ionosférica excedida el 50% del tiempo. Está dada por:

$$F(50) = F \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (4)$$

### 3.4 Intensidad de campo da la onda ionosférica, 10% del tiempo

Este factor está dado por:

$$F(10) - F(50) + 8 \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (5)$$

### 3.5 Variación nocturna de la intensidad de campo de la onda ionosférica

Las intensidades de campo medianas horarias de la onda ionosférica varían en el curso de la noche así como a la salida y a la puesta del sol. Esta variación rige para intensidades de campo que se producen tanto para el 50% como para el 10% de las noches.

### 3.6 Horas de salida y puesta del sol

La hora es la del meridiano local en el punto que corresponde y tiene que ser convertida a la hora legal apropiada.

Norma de Radiodifusión del Plan de Río de Janeiro.

Banda de Frecuencia:	535 - 1605 kHz (En el Ecuador la banda inicia en 525 MHz)
Separación entre canales:	El plan está basado en una separación entre canales de 10 kHz y en frecuencias portadoras que son múltiplos enteros de 10 kHz a partir de 540 kHz. (En el Ecuador a partir de 530 MHz).
Clase de emisión:	A3E (Modulación de Amplitud de doble banda lateral con portadora completa).
Anchura de banda necesaria:	10 kHz (5 kHz de audio frecuencia).
Potencia de la Estación:	Clase A: $\leq 100$ KW diurno $> \acute{o} = 50$ KW nocturno Clase B: Potencia Máxima: 50 KW Clase C: Máxima Potencia nocturno: 1 KW Máxima Potencia diurna: 1 KW en al zona de ruido 1 5 KW en al zona de ruido 2
Zona de ruido 2:	Estación Clase A: Onda de Superficie Diurno: El mismo canal: 1250 $\mu\text{V/m}$ Canal adyacente : 500 $\mu\text{V/m}$ Nocturno: 1250 $\mu\text{V/m}$ , 50% del tiempo
Comprende los países: Guyanas, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Brasil	Estación Clase B: Onda de Superficie Diurno: 1250 $\mu\text{V/m}$ Nocturno: 6500 $\mu\text{V/m}$
	Estación Clase C: Onda de Superficie Diurno: 1250 $\mu\text{V/m}$ Nocturno: 10000 $\mu\text{V/m}$
Relaciones de protección:	Cocanal: 26 dB Canal adyacente: Primer canal adyacente: 0 dB Segundo canal adyacente: - 29.5 dB
Modelo de propagación:	Propagación por onda de superficie y por onda ionosférica

## **9.7 PLAN NACIONAL DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS PARA RADIODIFUSIÓN Y TELEVISIÓN, PARA LA ATRIBUCIÓN DE BANDAS DE FRECUENCIAS Y LOS DISTINTOS SERVICIOS COMO SU USO Y CONTROL, dado en la sala de sesiones del CONARTEL el 28 de octubre del 2005, Resolución No. 3254-CONARTEL-05.**

### **CAPITULO 1. TÉRMINOS Y DEFINICIONES**

**Atribución (de una banda de frecuencias).** Inscripción en el Cuadro de Atribución de Bandas de Frecuencias, de una banda de frecuencia determinada, para que sea utilizada por uno o varios servicios de radiocomunicación terrenal o espacial en condiciones especificadas.

**Adjudicación (de una frecuencia o de un canal radioeléctrico).** Inscripción de un canal determinado en un plan adoptado por una conferencia competente, para ser utilizado por una o varias administraciones para un servicio de radiocomunicaciones terrenal o espacial en uno o varios países o zonas geográficas determinadas y según condiciones específicas.

**Asignación de una frecuencia o de un canal radioeléctrico.** Autorización que da una administración para que una estación radioeléctrica utilice una frecuencia o un canal radioeléctrico determinado en condiciones especificadas.

**Servicio de radiocomunicación.** Servicio que implica la transmisión, la emisión o la recepción de ondas radioeléctricas para fines específicos de telecomunicación.

**Servicio de radiodifusión.** Los servicios de radiodifusión son los servicios sonoros, visuales, multimedios y datos destinados al público, incluidos quienes utilizan control de acceso o interactividad. Esos servicios pueden utilizar circuitos de contribución entre estudios, distribución primaria a nodos de entrega, distribución secundaria a consumidores (mediante enlaces radioeléctricos, de cable o fibra óptica) y circuitos para la recopilación de información (periodismo electrónico, por ejemplo).

**Estación.** Uno o más transmisores o receptores, o una combinación de transmisores y receptores, incluyendo las instalaciones accesorias, necesarios para asegurar un servicio de radiocomunicación.

**Frecuencia asignada.** Centro de la banda de frecuencias asignada a una estación.

**Radiodifusión en onda corta tropical.** Se designa a un tipo particular de radiodifusión para uso interior nacional de los países incluidos en la zona tropical.

**Zona tropical.** Comprende toda la zona que se extiende entre los trópicos de Cáncer y Capricornio.

**Región 2.** Comprende la zona de América del Norte, América Central y América del Sur definida en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.

#### **Categoría de los servicios y de las atribuciones**

Los servicios cuyos nombres están impresos en el Cuadro en mayúsculas, estos se denominan servicios primarios; (ejemplo: RADIODIFUSIÓN).

Los servicios cuyos nombres están impresos en el Cuadro en caracteres normales se denominan servicios secundarios; (ejemplo: Móvil).

Las estaciones de un servicio secundario:

- a) No deben causar interferencia perjudicial a las estaciones de un servicio primario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro;
- b) No pueden reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones de un servicio primario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les pueda asignar en el futuro;
- c) Tiene derecho a la protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones del mismo servicio o de otros servicios secundarios a las que se les asignen frecuencias ulteriormente.

#### **Otros términos**

Para otros términos y definiciones se aplicarán los establecidos en la Ley de Radiodifusión y Televisión, en la Ley Reformatoria a la Ley de Radiodifusión y Televisión, en su Reglamento General y en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT.

#### **ALCANCE**

- a) Atribución de bandas de frecuencias para medios, sistemas y servicios de radiodifusión y televisión.
- c) Atribución de bandas para las frecuencias auxiliares.
- d) Aplicación de las normas técnicas y planes de distribución para los servicios de radiodifusión y televisión.
- e) La canalización de las bandas de frecuencias de radiodifusión y televisión deberá ser contemplada en las Normas Técnicas correspondientes para cada servicio.

**CAPITULO 2. CUADRO NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE BANDAS DE FRECUENCIAS DE LOS SERVICIOS DE RADIODIFUSIÓN SONORA Y DE TELEVISIÓN**

BANDA	REGIÓN 2	NOTA ECUADOR	UTILIZACION
<b>khZ</b>			
525-535	RADIODIFUSIÓN S5.86 RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA	EQA.5	Radiodifusión Sonora de Onda Media
535-1605	RADIODIFUSIÓN	EQA.5	Radiodifusión Sonora de Onda Media
1605-1625	RADIODIFUSIÓN S5.89 S5.90	EQA.5	Radiodifusión Sonora de Onda Media
1625-1705	FIJO MÓVIL RADIODIFUSIÓN S5.89 Radiolocalización S5.90	EQA.5	Radiodifusión Sonora de Onda Media
2300-2495	FIJO MÓVIL RADIODIFUSIÓN S5.113	EQA.10	Radiodifusión Sonora Onda Corta Tropical
3200-3230	FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico (R) RADIODIFUSIÓN S5.113	EQA.10	Radiodifusión Sonora Onda Corta Tropical
3230-3400	FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico RADIODIFUSIÓN S5.113	EQA.10	Radiodifusión Sonora Onda Corta Tropical
4750-4850	FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico (R) RADIODIFUSIÓN S5.113	EQA.10	Radiodifusión Sonora Onda Corta Tropical
4850-4995	FIJO MÓVIL TERRESTRE RADIODIFUSIÓN S5.113	EQA.10	Radiodifusión Sonora Onda Corta Tropical
5005-5060	FIJO RADIODIFUSIÓN S5.113	EQA.10	Radiodifusión Sonora Onda Corta Tropical
5900-5950	RADIODIFUSIÓN S5.134 S5.136	EQA.15	Radiodifusión Sonora Onda Corta
5950-6200	RADIODIFUSIÓN	EQA.15	Radiodifusión Sonora Onda Corta
7300-7350	RADIODIFUSIÓN S5.134 S5.143	EQA.15	Radiodifusión Sonora Onda Corta
9400-9500	RADIODIFUSIÓN S5.134 S5.146	EQA.15	Radiodifusión Sonora Onda Corta
9500-9900	RADIODIFUSIÓN S5.147	EQA.15	Radiodifusión Sonora Onda Corta
11600-11650	RADIODIFUSIÓN S5.134 S5.146	EQA.15	Radiodifusión Sonora Onda Corta
11650-12050	RADIODIFUSIÓN S5.134 S5.146	EQA.15	Radiodifusión Sonora Onda Corta
12050-12100	RADIODIFUSIÓN S5.134 S5.146	EQA.15	Radiodifusión Sonora Onda Corta
13570-13600	RADIODIFUSIÓN S5.134 S5.151	EQA.15	Radiodifusión Sonora Onda Corta
13600-13800	RADIODIFUSIÓN	EQA.15	Radiodifusión Sonora Onda Corta
13800-13870	RADIODIFUSIÓN S5.134 S5.151	EQA.15	Radiodifusión Sonora Onda Corta
15100-15600	RADIODIFUSIÓN	EQA.15	Radiodifusión Sonora Onda Corta
15600-15800	RADIODIFUSIÓN S5.134 S5.146	EQA.15	Radiodifusión Sonora Onda Corta
17480-17550	RADIODIFUSIÓN S5.134 S5.146	EQA.15	Radiodifusión Sonora Onda Corta
17550-17900	RADIODIFUSIÓN	EQA.15	Radiodifusión Sonora Onda Corta
18900-19020	RADIODIFUSIÓN S5.134 S5.146	EQA.15	Radiodifusión Sonora Onda Corta
21450-21850	RADIODIFUSIÓN	EQA.15	Radiodifusión Sonora Onda Corta

25670-26100	RADIODIFUSIÓN	EQA.20n	Radiodifusión Sonora Onda Corta Nacional e Internacional
BANDA	REGIÓN 2	NOTA ECUADOR	UTILIZACION
MHZ			
216-220	FIJO MÓVIL MARÍTIMO Radiolocalización S.5.241	EQA.66m	Enlaces de Radiodifusión Sonora
220-225	AFICIONADOS FIJO MÓVIL Radiolocalización S5.241	EQA.66m	Enlaces de Radiodifusión Sonora
225-235	FIJO MÓVIL	EQA.70	Enlaces de Radiodifusión Sonora
235-267	FIJO MÓVIL	EQA.75m	Enlaces de Radiodifusión Sonora
410-420	FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-espacio)	EQA.85m	Enlaces de Radiodifusión Sonora
420-430	FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico Radiolocalización	EQA.90m EQA.95	Enlaces de Radiodifusión Sonora
928-942	FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico Radiolocalización	EQA.155m	Enlaces de Radiodifusión Sonora
942-960	FIJO MÓVIL	EQA.155m	Enlaces de Radiodifusión Sonora
1670 - 1675	AYUDAS A LA METEOROLOGÍA FIJO METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL	EQA. 167n	Enlaces de Radiodifusión Sonora
1675 - 1690	AYUDAS A LA METEOROLOGÍA FIJO METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio)	EQA. 167n	Enlaces de Radiodifusión Sonora

### CAPITULO 3. NOTAS EXPLICATIVAS AL CUADRO NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE BANDAS DE FRECUENCIAS

#### 3.1 NOTAS DEL REGLAMENTO RADIOCOMUNICACIONES DE LA UIT PARA LA REGIÓN 2.

**5.86** En la Región 2, en la banda 525 - 535 kHz, la potencia de la portadora de las estaciones de radiodifusión no deberá exceder de 1 kW durante el día y de 250 vatios durante la noche.

**5.89** En la Región 2, la utilización de la banda 1605 - 1705 kHz por las estaciones del servicio de radiodifusión está sujeta al Plan establecido por la Conferencia Administrativa Regional de Radiocomunicaciones (Río de Janeiro, 1988).

**5.90** En la banda de 1605 - 1705 kHz, cuando una estación del servicio de radiodifusión de la Región 2 resulte afectada, la zona de servicio de las estaciones del servicio móvil marítimo en la Región 1 se limitará a la determinada por la propagación de la onda de superficie.

**5.113** Para las condiciones de utilización de las bandas 2300 - 2495 kHz (2498 kHz en la Región 1), 3200 - 3400 kHz, 4750 - 4995 kHz y 5005 - 5060 kHz por el servicio de radiodifusión, véanse los números S5.16 a S5.20, S5.21 y S23.3 a S23.10.

**5.134** La utilización de las bandas 5900 - 5950 kHz, 7300 - 7350 kHz, 9400 - 9500 kHz, 11600 - 11650 kHz, 12050 - 12100 kHz, 13570 - 13600 kHz, 13800 - 13870 kHz, 15600 - 15800 kHz, 17480 - 17550 kHz y 18900 - 19020 kHz por el servicio de radiodifusión está limitada a las emisiones en banda lateral única con las características especificadas en el apéndice S11 del Reglamento de Radiocomunicaciones.

**5.136** La banda 5900 - 5950 kHz está atribuida, hasta el 1 de abril de 2007, al servicio fijo a título primario, así como a los servicios siguientes: en la Región 1 al servicio móvil terrestre a título primario, en la Región 2 al servicio móvil salvo móvil aeronáutico(R) a título primario, y en la Región 3 al servicio móvil salvo móvil aeronáutico(R) a título secundario, a reserva del procedimiento descrito en la Resolución 21 (Rev.CMR-95). Después del 1 de abril de 2007, las frecuencias de esta banda podrán ser utilizadas por estaciones de los servicios antes mencionados, estableciéndose comunicación sólo dentro del país en que están situadas, a condición de que no se cause interferencia perjudicial al servicio de radiodifusión. Cuando utilicen frecuencias para estos servicios, se insta a las administraciones a utilizar la mínima potencia necesaria y a tener en cuenta la utilización estacional de frecuencias por el servicio de radiodifusión publicada de conformidad con el Reglamento de Radiocomunicaciones.

**5.143** La banda 7300 - 7350 kHz está atribuida, hasta el 1 de abril de 2007, al servicio fijo a título primario y al servicio móvil terrestre a título secundario, a reserva del procedimiento descrito en la Resolución 21 (CAMR-95). Después del 1 de abril de 2007, las frecuencias de esta banda podrán ser utilizadas por estaciones de los servicios antes mencionados, estableciéndose comunicación sólo dentro del país en que están situadas, a condición de que no se cause interferencia perjudicial al servicio de radiodifusión. Cuando utilicen frecuencias para estos servicios, se insta a las administraciones a utilizar la mínima potencia necesaria y a tener en cuenta la utilización estacional de frecuencias por el servicio de radiodifusión publicada de conformidad con el Reglamento de Radiocomunicaciones.

**5.146** Las bandas 9400 - 9500 kHz, 11600 - 11650 kHz, 12050 - 12100 kHz, 15600 - 15800 kHz, 17480 - 17550 kHz y 18900 - 19020 kHz están atribuidas al servicio fijo a título primario hasta el 1 de abril de 2007, a reserva del procedimiento descrito en la Resolución 21 (CAMR-95). Después del 1 de abril de 2007, las frecuencias de estas bandas podrán ser utilizadas por las estaciones en el servicio fijo, estableciéndose comunicación sólo dentro del país en que están situadas, a condición de que no se cause interferencia perjudicial al servicio de radiodifusión. Cuando utilicen frecuencias para el servicio fijo, se insta a las administraciones a utilizar la mínima potencia necesaria y a tener en cuenta la utilización estacional de frecuencias por el servicio de radiodifusión publicada de conformidad con el Reglamento de Radiocomunicaciones.

**5.147** A condición de no causar interferencia perjudicial al servicio de radiodifusión, las frecuencias de las bandas 9775 - 9900 kHz, 11650 - 11700 kHz y 11975 - 12050 kHz podrán ser utilizadas por estaciones del servicio fijo que comuniquen únicamente dentro de las fronteras nacionales, no excediendo la potencia radiada total de cada estación de 24 dBW.

**5.151** Las bandas 13570 - 13600 kHz y 13800 - 13870 kHz están atribuidas, hasta el 1 de abril de 2007, al servicio fijo a título primario y al servicio móvil salvo móvil aeronáutico (R) a título secundario, a reserva del procedimiento descrito en la Resolución 21 (Rev.CMR-95). Después del 1 de abril de 2007, las frecuencias de estas bandas podrán ser utilizadas por las estaciones de los servicios antes mencionados, estableciéndose comunicación sólo dentro del país en que están situadas, a condición de que no se cause interferencia perjudicial al servicio de radiodifusión. Cuando utilicen frecuencias para estos servicios, se insta a las administraciones a utilizar la mínima potencia necesaria y a tener en cuenta la utilización estacional de frecuencias por el servicio de radiodifusión publicada de conformidad con el Reglamento de Radiocomunicaciones.

**5.241** En la Región 2, no podrán autorizarse nuevas estaciones del servicio de radiolocalización en la banda 216 - 225 MHz. Las estaciones autorizadas antes del 1 de enero de 1990 podrán continuar funcionando a título secundario.

### **3.2 NOTAS NACIONALES**

#### **3.2.1 DISPOSICIONES GENERALES**

- a) La distribución de bandas de frecuencias para servicios de radiodifusión y televisión específicos será únicamente dentro de la banda establecida en la correspondiente nota nacional EQA.
- b) Todas las notas nacionales EQA relacionadas con los servicios de radiodifusión y televisión, podrán ser modificadas previa aprobación del CONARTEL.

#### **3.2.2 NOTAS**

##### **EQA.5**

Las bandas 525 - 535 kHz, 535 - 1605 kHz, 1605 - 1625 kHz, 1625 - 1705 kHz, son atribuidas al servicio de RADIODIFUSIÓN Sonora en Amplitud Modulada.

##### **EQA.10**

Las bandas 2300 - 2495 kHz, 3200 - 3230 kHz, 3230 - 3400 kHz, 4750 - 4850 kHz, 4850 - 4995 kHz, 5005 - 5060 kHz, son atribuidas al servicio de RADIODIFUSIÓN Sonora en Onda Corta Tropical.

##### **EQA.15**

Las bandas 5900 - 5950 kHz, 5950 - 6200 kHz, 7300 - 7350 kHz, 9400 - 9500 kHz, 9500 - 9900 kHz, 11600 - 11650 kHz, 11650 - 12050 kHz, 12050 - 12100 kHz, 13570 kHz - 13600 kHz, 13600 - 13800 kHz,

13800 – 13870 kHz, 15100 – 15600 kHz, 15600 – 15800 kHz, 17480 – 17550 kHz, 17550 – 17900 kHz, 18900 – 19020 kHz, 21450 – 21850 kHz, son atribuidas al servicio de RADIODIFUSIÓN Sonora en ondas decamétricas.

**EQA.20n**

La banda 25670 – 26100 kHz, es atribuida al servicio de RADIODIFUSIÓN Sonora en ondas decamétricas nacionales e Internacionales.

**EQA.66m**

En la banda de 216-220 MHz, atribuida a título primario a los servicios FIJO y MÓVIL MARÍTIMO, operan enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto-punto y punto-multipunto para el servicio de radiodifusión sonora, excepto en la zona costera y fluvial navegable, compartiendo con enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas, fijas-móviles y móviles-móviles con antenas direccionales punto-punto y punto-multipunto para el servicio móvil marítimo.

En la banda de 222-225 MHz atribuida a título primario a los servicios AFICIONADOS, FIJO y MÓVIL, operan exclusivamente enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto-punto y punto-multipunto para el servicio de radiodifusión sonora.

**EQA.70**

En la banda de 225-235 MHz atribuida a título primario a los servicios FIJO y MÓVIL, operan exclusivamente enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto-punto y punto-multipunto para el servicio de radiodifusión sonora.

**EQA.75m**

En la sub-banda 246-248 MHz, atribuida a título primario a los servicios FIJO y MÓVIL, operan exclusivamente enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto-punto, punto-multipunto para el servicio de radiodifusión sonora.

**EQA.85m**

En la sub-banda de 417.5-420 MHz atribuida a título primario a los servicios FIJO, MÓVIL salvo móvil aeronáutico e INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-espacio), operan exclusivamente enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto-punto, punto-multipunto para el servicio de radiodifusión sonora.

**EQA.90m**

En la sub-banda 420-425 MHz, atribuida a título primario a los servicios FIJO y MÓVIL salvo móvil aeronáutico, operan exclusivamente enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto-punto, punto-multipunto para el servicio de radiodifusión sonora.

**EQA.95**

En la sub-banda 425-430 MHz, atribuida a los servicios FIJO y MÓVIL salvo móvil aeronáutico, operan exclusivamente enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto-punto, punto-multipunto para el servicio de radiodifusión sonora.

**EQA.155m**

En las bandas 937-940 MHz y 941-942 MHz, atribuidas a título primario a los servicios FIJO y MÓVIL salvo móvil aeronáutico, y en las bandas 942-951 MHz y 956-960 MHz, atribuidas a título primario a los servicios FIJO y MÓVIL, operan exclusivamente enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto-punto, punto-multipunto para el servicio de radiodifusión sonora.

**EQA.167n**

En la banda de 1670-1675 MHz, atribuida a título primario a los servicios de AYUDAS A LA METEOROLOGÍA, FIJO, METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio – Tierra) y MÓVIL, operan exclusivamente enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto-punto, punto-multipunto para el servicio de radiodifusión sonora.

En la banda de 1675-1690 MHz, atribuida a título primario a los servicios de AYUDAS A LA METEOROLOGÍA, FIJO, METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio – Tierra), MÓVIL salvo móvil aeronáutico, MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio), operan exclusivamente enlaces radioeléctricos entre estaciones fijas con antenas direccionales punto-punto, punto-multipunto para el servicio de radiodifusión sonora.

**3.2.3 OBSERVACIONES FINALES**

Las notas EQA de este Plan que son coincidentes con las notas EQA del Plan Nacional de Frecuencias mantienen la misma nomenclatura. Si la nomenclatura de la nota EQA en este Plan va acompañada de una letra m (ej. EQA.245m), significa que se ha modificado la correspondiente nota EQA del Plan Nacional de Frecuencias, adecuándola para los servicios de radiodifusión y televisión. Si va acompañada de una letra n (ej. EQA.241n), significa que es una nueva nota que atribuye la banda para los servicios de radiodifusión y televisión.