

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**DISEÑO DE LA RADIODIFUSORA RADIO LÍDER 90.1 FM CON
TECNOLOGÍA EN BASE AL STANDARD NORTEAMERICANO
IBOC (IN-BAND ON CHANNEL)**

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

CÉSAR FERNANDO ORTEGA PINTADO
(coolfusion33@hotmail.com)

DIRECTOR: ING. EDWIN NIETO
(edwin.nieto@epn.edu.ec)

Quito, julio 2009

DECLARACIÓN

Yo, César Fernando Ortega Pintado, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

César Fernando Ortega Pintado

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el señor César Fernando Ortega Pintado, bajo mi supervisión.

Ing. Edwin Nieto
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por su guía en los momentos difíciles. A mis padres, Cesar Ortega y Cuty Pintado por el amor, sacrificio, comprensión y apoyo que me brindaron durante toda mi vida y en especial durante los años de mi carrera.

A mis hermanos, Anita, Martha y Enrique Ortega, por sus oportunas visitas y llamadas que me llenaban de fuerzas para continuar justo cuando estas parecían acabarse. A mis abuelas, Mercedes Monge y Edita Mendoza por sus palabras de apoyo y orgullo, una razón mas para continuar con lo que me propuse.

Gracias al Ing. Edwin Nieto, por su tiempo, paciencia y guía en este trabajo. Gracias a las personas que contribuyeron a que esto fuera realidad con su granito de arena, Ing. Jhony Lucas, la Familia Dávila, los amigos del Hogar Xavier.

Y un agradecimiento a cada uno de los amigos que hice en este viaje. A Christian Loza, JOTTA Juan Cabrera, Francisco Ordóñez, Daniel "Lucky" Uquillas, Julio Torres, Juan Yépez por brindarme su amistad. A mis amigas Mayra Pérez, Jessica Salazar, Gisella Mantilla, Jenny Bonilla. En especial a Patricia Aguilar y Verónica Astudillo, por esforzarse en que nunca me quedara atrás A Jessica Salazar, por ser la persona con la que compartí el honor de ser costeño y me hiciera sentir como si estuviera en mi tierra. Gracias a todos ustedes por igual. Ustedes se convirtieron en más que mis amigos, mis hermanos.

Muchas personas pasaron por mi vida en estos 7 años, cada uno muy importante. Quedan muchos nombres en el tintero a los que debería agradecer. Mil perdones a las personas de las que me olvide.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis dos ejemplos de honradez, trabajo y amor por el conocimiento, mi abuelo querido el Dr. Cesar Ortega Alban y mi padre el Ing. Cesar Ortega Mendoza. Sin la guía de los dos durante mi vida, ésta no sería lo que es.

Lo dedico también a toda mi familia, mi madre Cuty y mis hermanos, Anita, Martha y Enrique quienes vivieron paso a paso mi aventura y se sacrificaron, cada uno en su momento, para que yo saliera adelante.

*“Esto es todo nuestro, todo nuestro”
Gabriel Fernández Copello*

CONTENIDO

INDICE.....	i
INDICE DE FIGURAS.....	v
INDICE DE TABLAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
PRESENTACIÓN.....	x

INDICE

CAPÍTULO 1.....	1
MARCO TEÓRICO. CARACTERÍSTICAS DEL STANDARD IBOC.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL TERRENA EN LA BANDA DE ONDAS MÉTRICAS.....	3
1.3 STANDARD NRSC-5 (SISTEMA IBOC FM).....	4
1.3.1 Transmisiones FM.....	6
1.3.1.1 Ancho de banda.....	6
1.4 PRINCIPIOS TEÓRICOS.....	8
1.4.1 COFDM.....	8
1.4.1.1 Ventajas del esquema de modulación.....	9
1.4.1.2 Desventajas del esquema de modulación.....	10
1.4.1.3 Funcionamiento.....	10
1.4.1.3.1 Modulación Ortogonal.....	10
1.4.1.3.2 Interferencia por efectos multicamino.....	12
1.4.1.3.3 Constelaciones Básicas.....	13
1.4.1.3.4 Intervalo de guarda.....	13
1.4.1.3.5 Modulador y demodulador OFDM.....	15
1.4.1.3.6 Modulación Jerárquica.....	16
1.4.1.3.7 Modelo simplificado del sistema COFDM.....	16
1.4.2 Codificación avanzada de audio de alta eficiencia (HE – AAC).....	20
1.4.2.1 Calidad percibida.....	20
1.4.2.2 Replicación Espectral de Banda (SBR).....	21
1.4.3 Sistema de Radiodifusión de Datos (RDS).....	21
1.5 SISTEMA IBOC FM.....	23
1.5.1 Bloques funcionales del sistema.....	24
1.5.1.1 Codificación y compresión de audio.....	25
1.5.1.2 Codificación del canal.....	26
1.5.1.3 Implementación de la señal OFDM.....	26
1.5.1.4 Espectro de la señal IBOC FM.....	27
1.5.1.4.1 Espectro del modo híbrido.....	27
1.5.1.4.2 Espectro del modo híbrido ampliado.....	27
1.5.1.4.3 Espectro del modo totalmente digital.....	28
1.5.2 Enlace Estudio – Transmisor.....	30
1.5.3 El transmisor FM.....	31
1.5.3.1 Combinación de alto nivel.....	31
1.5.3.2 Combinación de bajo nivel.....	33
1.5.3.3 Implementación de antenas separadas.....	33

CAPÍTULO 2 **35**

**SITUACIÓN ACTUAL DE LA RADIODIFUSORA “LÍDER 90.1 FM” Y SU PROYECCIÓN FUTURA
CON TECNOLOGÍA DIGITAL** **35**

2.1	ANTECEDENTES	35
2.2	SITUACIÓN TÉCNICA	36
2.2.1	Concesión de la frecuencia	36
2.2.2	Equipos utilizados en la cabina de programación	37
2.2.2.1	Sistema de Procesamiento de datos fuera del aire	37
2.2.2.2	Sistema de Procesamiento de datos al aire	40
2.2.3	Equipos utilizados para el enlace entre la estación y la cabina de transmisión	43
2.2.4	Equipos utilizados en la cabina de transmisión	46
2.2.5	Antenas utilizadas en el sistema de transmisión	49
2.3	SISTEMA DE TRANSMISIÓN FINAL	51
2.4	ALCANCE GEOGRÁFICO DE LA ESTACIÓN	54
2.5	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMISORA	55

CAPÍTULO 3 **57**

TIPOS DE CONFIGURACIONES DE TRANSMISIÓN DEL STANDARD IBOC **57**

3.1	INTRODUCCIÓN	57
3.2	SERVICIOS EN FM IBOC	59
3.2.1	Servicio de Programa Principal	59
3.2.2	Servicio de Programa Secundario	59
3.2.3	Servicio de datos personales	61
3.2.4	Servicio de Identificación de la Estación	61
3.2.5	Servicio de aplicación auxiliar	61
3.3	PROTOCOLO EN IBOC	61
3.4	CAPA FÍSICA	62
3.4.1	Canal de Control del sistema	63
3.4.2	Canales Lógicos	63
3.4.2.1	Canales Lógicos Primarios	63
3.4.2.2	Canales Lógicos Secundarios	64
3.4.2.3	Funcionalidad de los canales lógicos	64
3.4.3	Estructura funcional de la capa física	69
3.4.3.1	SAP's de Capa 1	69
3.4.3.2	Aleatorización	69
3.4.3.3	Codificación de la señal	69
3.4.3.4	Entrelazado	69
3.4.3.5	Sistema de Control (Procesamiento)	70
3.4.3.6	Mapeo de las subportadoras OFDM	71
3.4.3.7	Generación de la señal OFDM	71
3.4.3.8	Subsistema de Transmisión	71
3.4.4	Subsistema de Transmisión	71
3.4.4.1	Concatenación de símbolos	72
3.4.4.2	Conversión hacia arriba	73
3.4.4.3	Retardo de diversidad	73
3.4.4.4	Modulador FM analógico	74
3.4.4.5	Combinador Analógico Digital	74
3.4.4.6	Sincronización GPS	74
3.4.5	Formas de onda y Espectro	75
3.4.5.1	Espectro Híbrido	77
3.4.5.2	Espectro Híbrido Extendido	78
3.4.5.3	Espectro Totalmente Digital	80
3.4.6	Mapeo Espectral Primario	81
3.4.6.1	Mapeo Espectral de Modo de servicio MP1	81

3.4.6.2	Mapeo Espectral de Modo de servicio MP2	81
3.4.6.3	Mapeo Espectral de Modo de servicio MP3	83
3.4.6.4	Mapeo Espectral de Modo de servicio MP4	83
3.4.6.5	Mapeo Espectral de Modo de servicio MP5	84
3.4.6.6	Mapeo Espectral de Modo de servicio MP6	86
3.4.6.7	Mapeo Espectral de Modo de servicio MP7	87
3.4.7	Mapeo Espectral Secundario	88
3.4.7.1	Mapeo Espectral de Modo de servicio MS1	88
3.4.7.2	Mapeo Espectral de Modo de servicio MS2	89
3.4.7.3	Mapeo Espectral de Modo de servicio MS3	89
3.4.7.4	Mapeo Espectral de Modo de servicio MS4	90
3.5	DATOS ADICIONALES SOBRE EL FUNCIONAMIENTO GENERAL	91
3.5.1	Tolerancias en la sincronización	91
3.5.2	Limites de Emisión de señal y ruido	92
3.5.3	Niveles de las bandas laterales digitales	94
CAPÍTULO 4		96
ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN NORMATIVA DE LA RADIODIFUSIÓN DIGITAL EN EL ECUADOR		96
4.1	INTRODUCCIÓN	96
4.2	SITUACIÓN REGULATORIA EN EL ECUADOR	97
4.2.1	Estructura organizacional del organismo regulador	97
4.2.2	Normativa Regulatoria	98
4.2.2.1	Ley de Radiodifusión y Televisión	98
4.2.2.2	Reglamento General a la Ley de Radiodifusión y Televisión	100
4.2.2.3	La Ley Especial de Telecomunicaciones	101
4.2.2.4	Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones	102
4.2.2.5	Norma Técnica Reglamentaria para radiodifusión en Frecuencia Modulada Analógica	102
4.3	ESTADO DE LA NORMATIVA SOBRE RADIODIFUSIÓN FM EN LA REGIÓN	103
4.3.1	Argentina	104
4.3.2	Chile	105
4.3.3	Colombia	105
4.3.4	Perú	106
4.3.5	Venezuela	106
4.3.6	El estándar americano IBOC en la Región	107
4.4	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DEL ECUADOR	108
4.5	CONSIDERACIONES GENERALES PARA ESTABLECER UN MARCO REGULATORIO EFICAZ EN RADIO DIGITAL	109
4.6	PERSPECTIVAS SOBRE LA DIGITALIZACIÓN DE LA RADIO Y SU NORMATIVA	111
CAPÍTULO 5		114
DISEÑO Y SELECCIÓN DEL EQUIPAMIENTO PARA LA NUEVA RADIODIFUSORA DIGITAL EN BASE AL STANDARD IBOC Y SU PRESUPUESTO		114
5.1	INTRODUCCIÓN	114
5.2	PROPUESTA DE PERIODOS DE TIEMPO PARA LA DIGITALIZACIÓN	115
5.3	ANÁLISIS DEL TIPO DE SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN A UTILIZARSE	116
5.3.1	Combinación en bajo nivel	117
5.3.2	Antenas distintas	118
5.3.3	Combinación en Alto Nivel	120
5.3.4	Sistema a utilizarse y justificación del mismo	122
5.4	CONSIDERACIONES INICIALES PARA EL DISEÑO	124
5.4.1	Selección de la marca a utilizarse	124
5.4.1.1	Broadcast Electronics (BE)	125
5.4.1.2	Harris	125

5.4.1.3	Nautel	126
5.4.1.4	Selección de la marca y justificación	126
5.4.2	Descripción general del sistema propuesto	127
5.4.2.1	Diagrama de bloques del sistema a utilizarse en el estudio	127
5.4.2.1.1	Generador de audio	128
5.4.2.1.2	Procesador de audio	130
5.4.2.1.3	Exportado	130
5.4.2.1.4	Transmisor del STL	131
5.4.2.1.5	Equipo Enrutador	132
5.4.2.1.6	Importador	132
5.4.2.2	Diagrama de bloques del sistema a utilizarse en la cabina de transmisión	132
5.4.2.2.1	Receptor del STL	133
5.4.2.2.2	Excitador	133
5.4.2.2.3	Amplificador de potencia	134
5.4.3	Selección de los equipos para el sistema planteado	134
5.4.3.1	Generador de audio	135
5.4.3.1.1	PC	135
5.4.3.1.2	Tarjeta de sonido	135
5.4.3.1.3	Software organizador de programación	136
5.4.3.1.4	Consola digital de audio	137
5.4.3.2	Procesador de audio	139
5.4.3.3	Exportador	140
5.4.3.4	Equipo enrutador	142
5.4.3.5	Importador	142
5.4.3.6	Equipos del STL	143
5.4.3.7	Excitador	144
5.4.3.8	Amplificador de Potencia	145
5.5	CONEXIONES Y CONFIGURACIONES BÁSICAS DE LOS EQUIPOS	146
5.5.1	Conexiones de los equipos	146
5.6	ANÁLISIS DEL ALCANCE DE LA ESTACIÓN	149
5.7	PRESENTACIÓN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN	151
CAPÍTULO 6		153
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		153
6.1	CONCLUSIONES	153
6.2	RECOMENDACIONES	155

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

<i>Figura 1.1</i>	<i>Radio digital básica</i>	<i>1</i>
<i>Figura 1.2</i>	<i>Esquema de modulación y demodulación QAM</i>	<i>11</i>
<i>Figura 1.3</i>	<i>Ejemplos de constelaciones básicas usadas en la modulación OFDM</i>	<i>13</i>
<i>Figura 1.4</i>	<i>Intervalo de guarda usado en cada símbolo COFDM</i>	<i>14</i>
<i>Figura 1.5</i>	<i>Diagrama de bloques del modulador COFDM</i>	<i>15</i>
<i>Figura 1.6</i>	<i>Diagrama de bloques del demodulador COFDM</i>	<i>15</i>
<i>Figura 1.7</i>	<i>Transmisor OFDM</i>	<i>17</i>
<i>Figura 1.8</i>	<i>Señal de salida COFDM</i>	<i>18</i>
<i>Figura 1.9</i>	<i>Receptor COFDM</i>	<i>19</i>
<i>Figura 1.10</i>	<i>Bloques funcionales del sistema IBOC FM</i>	<i>25</i>
<i>Figura 1.11</i>	<i>Espectro del sistema IBOC FM Híbrido</i>	<i>28</i>
<i>Figura 1.12</i>	<i>Espectro del sistema IBOC FM Híbrido ampliado</i>	<i>29</i>
<i>Figura 1.13</i>	<i>Espectro del sistema IBOC FM totalmente digital</i>	<i>30</i>
<i>Figura 1.14</i>	<i>Diagrama de bloques de una amplificación usando combinación de alto nivel o amplificación por separado</i>	<i>32</i>
<i>Figura 1.15</i>	<i>Diagrama de bloques de una amplificación usando combinación de bajo nivel o amplificación común.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 1.16</i>	<i>Diagrama de bloques de una amplificación usando antenas separadas</i>	<i>34</i>

CAPÍTULO 2

<i>Figura 2.1</i>	<i>Consola mezcladora EURO POWER PMX1000 de Behringer</i>	<i>38</i>
<i>Figura 2.2</i>	<i>Consola utilizada para la transmisión en vivo en Radio Líder 90.1 FM</i>	<i>41</i>
<i>Figura 2.3</i>	<i>Interfaz de Radio5</i>	<i>42</i>
<i>Figura 2.4</i>	<i>OPTIMOD-FM 8200 que funciona actualmente en la estación</i>	<i>43</i>
<i>Figura 2.5</i>	<i>Radio Link Transmitter modelo PTRL-LCD que funciona en la estación</i>	<i>45</i>
<i>Figura 2.6</i>	<i>Radio Link Receiver modelo RXRL-LCD que funciona en la cabina de transmisión</i>	<i>46</i>
<i>Figura 2.7</i>	<i>Excitador FM PTX-LCD de R.V.R. que funciona en la cabina de transmisión</i>	<i>47</i>
<i>Figura 2.8</i>	<i>Amplificador de Potencia de RF PJ500M-C/LCD de R.V.R. que funciona en la cabina de transmisión</i>	<i>48</i>
<i>Figura 2.9</i>	<i>Amplificador de Potencia de RF 695T5KW de QEI que funciona en la cabina de transmisión</i>	<i>49</i>
<i>Figura 2.10</i>	<i>Arreglo de 4 dipolos utilizado para el enlace entre el estudio y la cabina de transmisión (Transmisor)</i>	<i>50</i>
<i>Figura 2.11</i>	<i>Arreglo de 4 dipolos utilizado para el enlace entre el estudio y la cabina de transmisión (Receptor)</i>	<i>50</i>
<i>Figura 2.12</i>	<i>Arreglo de 4 dipolos utilizado la transmisión de la señal FM</i>	<i>51</i>
<i>Figura 2.13</i>	<i>Estructura general de sistema de transmisión en el estudio de Radio Líder 90.1 FM</i>	<i>52</i>
<i>Figura 2.14</i>	<i>Estructura general de sistema de transmisión en la cabina de transmisión de Radio Líder 90.1 FM</i>	<i>54</i>
<i>Figura 2.15</i>	<i>Alcance aproximado de la emisora Radio Líder 90.1 FM</i>	<i>55</i>

CAPÍTULO 3

<i>Figura 3.1</i>	<i>Diagrama de bloques funcional de la capa 1 de IBOC FM</i>	<i>70</i>
<i>Figura 3.2</i>	<i>Diagrama de bloques del subsistema de transmisión para señales híbridas e híbridas extendidas</i>	<i>72</i>
<i>Figura 3.3</i>	<i>Diagrama de bloques del subsistema de transmisión para señales totalmente Digitales</i>	<i>73</i>
<i>Figura 3.4</i>	<i>Partición de frecuencias del tipo A</i>	<i>75</i>
<i>Figura 3.5</i>	<i>Partición de frecuencias del tipo B</i>	<i>76</i>

<i>Figura 3.6</i>	<i>Subportadoras inferiores (Referenciales y OFDM)</i>	77
<i>Figura 3.7</i>	<i>Subportadoras superiores (Referenciales y OFDM)</i>	77
<i>Figura 3.8</i>	<i>Espectro del sistema IBOC FM Híbrido</i>	78
<i>Figura 3.9</i>	<i>Espectro del sistema IBOC FM Híbrido extendido</i>	79
<i>Figura 3.10</i>	<i>Espectro del sistema IBOC FM totalmente digital</i>	80
<i>Figura 3.11</i>	<i>Mapeo Espectral Modo de servicio MP1</i>	82
<i>Figura 3.12</i>	<i>Mapeo Espectral Modo de servicio MP2</i>	82
<i>Figura 3.13</i>	<i>Mapeo Espectral Modo de servicio MP3</i>	83
<i>Figura 3.14</i>	<i>Mapeo Espectral Modo de servicio MP4</i>	84
<i>Figura 3.15</i>	<i>Mapeo Espectral Modo de servicio MP5</i>	85
<i>Figura 3.16</i>	<i>Mapeo Espectral Modo de servicio MP6</i>	86
<i>Figura 3.17</i>	<i>Mapeo Espectral Modo de servicio MP7</i>	87
<i>Figura 3.18</i>	<i>Mapeo Espectral Modo de servicio MS1</i>	88
<i>Figura 3.19</i>	<i>Mapeo Espectral Modo de servicio MS2</i>	89
<i>Figura 3.20</i>	<i>Mapeo Espectral Modo de servicio MS3</i>	90
<i>Figura 3.21</i>	<i>Mapeo Espectral Modo de servicio MS4</i>	91
<i>Figura 3.22</i>	<i>Representación grafica de la Tabla 3.14</i>	93
<i>Figura 3.23</i>	<i>Representación grafica de la Tabla 3.15</i>	94

CAPÍTULO 4

<i>Figura 4.1</i>	<i>Estructura del Organismo Regulador en el País</i>	98
<i>Figura 4.2</i>	<i>Situación del estándar IBOC en América</i>	103
<i>Figura 4.3</i>	<i>Distribución de las estaciones digitales en Estados Unidos</i>	108

CAPÍTULO 5

<i>Figura 5.1</i>	<i>Esquema de la organización de equipos de transmisión según la combinación en bajo nivel</i>	118
<i>Figura 5.2</i>	<i>Esquema de la organización de equipos de transmisión usando antenas separadas</i>	120
<i>Figura 5.3</i>	<i>Esquema de la organización de equipos de transmisión usando combinación de alto nivel</i>	122
<i>Figura 5.4</i>	<i>Esquema de decisiones a tomar en la implementación de radio digital</i>	123
<i>Figura 5.5</i>	<i>Diagrama de el sistema propuesto de estudio digital</i>	128
<i>Figura 5.6</i>	<i>Diagrama de el sistema propuesto de la cabina de transmisión digital</i>	133
<i>Figura 5.7</i>	<i>Tarjeta de sonido ASI 5111</i>	136
<i>Figura 5.8</i>	<i>Vista de la interfaz de VaultEXPRESS de Broadcast Electronics</i>	137
<i>Figura 5.9</i>	<i>StereoMixer digital de Harris</i>	138
<i>Figura 5.10</i>	<i>Procesador de audio digital/análogo OPTIMOD FM 8500 de ORBAN</i>	141
<i>Figura 5.11</i>	<i>Exportador XPi 10 de Broadcast Electronics</i>	141
<i>Figura 5.12</i>	<i>Switch NETGEAR</i>	142
<i>Figura 5.13</i>	<i>Importador de datos IDi 20 de Broadcast Electronics</i>	143
<i>Figura 5.14</i>	<i>Equipos Transmisores del STL de Broadcast Electronics</i>	143
<i>Figura 5.15</i>	<i>Equipos Receptores del STL de Broadcast Electronics</i>	144
<i>Figura 5.16</i>	<i>Excitador FXi 250 de Broadcast Electronics</i>	144
<i>Figura 5.17</i>	<i>Amplificador de potencia FMi 201 de Broadcast Electronics</i>	145
<i>Figura 5.18</i>	<i>Esquema de las conexiones básicas de los equipos del estudio</i>	146
<i>Figura 5.19</i>	<i>Esquema de las conexiones básicas de los equipos del estudio</i>	148
<i>Figura 5.20</i>	<i>Esquema de las conexiones básicas de los equipos del estudio</i>	149
<i>Figura 5.21</i>	<i>Comparación del alcance de la estación con una potencia de transmisión de 2500 W y 2100 W</i>	150
<i>Figura 5.22</i>	<i>Alcance de la estación en el modo totalmente digital usando una potencia de 250 W</i>	150

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2

<i>Tabla 2.1</i>	<i>Características técnicas de la consola mezcladora EURO POWER PMX1000 de Behringer</i>	39
<i>Tabla 2.2</i>	<i>Características técnicas de la consola mezcladora EURO POWER PMX1000 de Behringer</i>	40
<i>Tabla 2.3</i>	<i>Características eléctricas del Radio Link Transmitter modelo PTRL-LCD</i>	44
<i>Tabla 2.4</i>	<i>Características eléctricas del Radio Link Receiver modelo RXRL-LCD</i>	45
<i>Tabla 2.5</i>	<i>Características eléctricas del Excitador FM PTX-LCD de R.V.R.</i>	47
<i>Tabla 2.6</i>	<i>Características eléctricas del amplificador de potencia PJ500M-C/LCD de R.V.R.</i>	48

CAPÍTULO 3

<i>Tabla 3.1</i>	<i>Normas para la Configuración de MPS y SPS por Modo</i>	60
<i>Tabla 3.2</i>	<i>Descripción de la utilidad de cada una de las capas del modelo en el estándar IBOC</i>	62
<i>Tabla 3.3</i>	<i>Parámetros característicos del modo de servicio del modo MP1</i>	65
<i>Tabla 3.4</i>	<i>Parámetros característicos del modo de servicio del modo MP2</i>	65
<i>Tabla 3.5</i>	<i>Parámetros característicos del modo de servicio del modo MP3</i>	66
<i>Tabla 3.6</i>	<i>Parámetros característicos del modo de servicio del modo MP4</i>	66
<i>Tabla 3.7</i>	<i>Parámetros característicos del modo de servicio del modo MP5</i>	66
<i>Tabla 3.8</i>	<i>Parámetros característicos del modo de servicio del modo MP6</i>	67
<i>Tabla 3.9</i>	<i>Parámetros característicos del modo de servicio del modo MP7</i>	67
<i>Tabla 3.10</i>	<i>Parámetros característicos del modo de servicio del modo MS1</i>	67
<i>Tabla 3.11</i>	<i>Parámetros característicos del modo de servicio del modo MS2</i>	68
<i>Tabla 3.12</i>	<i>Parámetros característicos del modo de servicio del modo MS3</i>	68
<i>Tabla 3.13</i>	<i>Parámetros característicos del modo de servicio del modo MS4</i>	68
<i>Tabla 3.14</i>	<i>Limite de atenuación en el modo híbrido</i>	93
<i>Tabla 3.15</i>	<i>Limite de atenuación en el modo totalmente digital</i>	93
<i>Tabla 3.16</i>	<i>Valores del factor de amplitud de bandas laterales digitales dependiendo de la forma de onda</i>	95

CAPÍTULO 5

<i>Tabla 5.1</i>	<i>Inversiones necesarias para la implementación del diseño propuesto</i>	152
------------------	---	-----

RESUMEN

El objetivo principal de este proyecto es el de realizar el diseño de una radiodifusora FM a partir del estándar IBOC (In band on channel), es decir seleccionar el sistema y los equipos necesarios para el estudio, enlace y cabina de transmisión necesarios.

En el primer capítulo se describe el estándar. Se realiza una introducción a los principales aspectos de la radiodifusión digital, específicamente el estándar en estudio, así como sus ventajas y desventajas. Se analiza además una breve reseña histórica del estándar y como se maneja actualmente el estándar por parte de la empresa privada que lo desarrollo y los organismos reguladores del país de origen.

Se presenta el estándar y se analiza los diferentes métodos y sistemas utilizados tales como la modulación digital, la codificación de la señal, los codecs compresores de audio etc. Se describen de manera genera las diferentes formas de transmisión posibles desde el punto de vista de los servicios prestados y el ancho de banda utilizado y los respectivos espectros de estos tipos de transmisión. Además se presentan los tipos de subsistemas de transmisión que se pueden utilizar y cómo funcionan.

En el segundo capítulo se hace una descripción de la estación sobre la que se realiza el diseño. Se realiza una reseña histórica de la estación así como sus tendencias de programación a lo largo de su historia y su proyección del punto de vista comercial. Se describen el sistema de radiodifusión que posee y los equipos que utiliza para la transmisión. Además se indica la situación actual de la radiodifusora del punto de vista de la concesión.

En el capítulo 3 se analiza los tipos de configuraciones posibles que nos brinda el estándar propuesto desde el punto de vista de servicios brindados. Se describen los tipos de servicios disponibles y como se distribuyen en la transmisión para implementarlos.

Además se presentan los espectros de dichos modos de servicio y la capacidad de transmisión de cada una de estas configuraciones.

En el cuarto capítulo se realiza un análisis de la situación actual en el país desde el punto de vista de la normativa relacionada con la radiodifusión digital y las perspectivas. Además se hace una comparación del avance realizado en los países de la región en lo referente a radiodifusión digital. Se presenta un resumen de la organización actual del sistema regulatorio del país y las facilidades e inconvenientes que esta presenta a la implementación del diseño propuesto.

Además se brindan recomendaciones secuenciales a seguir para facilitar la implementación de esta tecnología en el país.

En el capítulo 5 se realiza el diseño, el cual es el objetivo principal de este proyecto de titulación. Se escoge el sistema de transmisión necesario y la marca de los equipos. A partir de esta información se describe el sistema de procesamiento de datos a ser utilizado siguiendo las recomendaciones de la marca escogida y se escogen los equipos necesarios para poder implementar dicho diseño. Además se describe el funcionamiento básico de dichos equipos y las conexiones y configuraciones básicas necesarias para la puesta en marcha de las transmisiones.

Se indican también los costos aproximados de implementación y de mantenimiento de dicho diseño.

Finalmente, en el capítulo 6 se presentan las conclusiones a las que llevo este proyecto y se brindan varias recomendaciones desde el punto de vista técnico y de normativa de la tecnología propuesta.

PRESENTACIÓN

En la actualidad todos los sistemas de telecomunicaciones se basan en sistemas digitales. Por esto todos los sistemas tradicionales como televisión y radiodifusión están migrando a nuevas tecnologías que les permitan adaptarse a esta tendencia.

Los beneficios de esta migración son totalmente claros. Comenzando por la mejora de la calidad de las transmisiones, además del aumento de los servicios que se pueden brindar sobre el mismo ancho de banda.

Específicamente, en lo que respecta a radiodifusión, la migración se viene dando desde los años noventa, actualmente tenemos tres propuestas disponibles en el mercado, ISDB desarrollado por Japón, DRM por la región europea y el estándar americano IBOC.

El estándar IBOC, presenta varias características que lo hacen ideal como alternativa para realizar la migración en aquellos países donde se requiera utilizar la misma distribución de frecuencias actual.

Este estándar, desarrollado por el sector privado de Estados Unidos, además de permitirnos usar las mismas frecuencias que se usan en la región para la radiodifusión FM, nos permite mejorar la calidad del audio percibido por los radioescuchas y aumentar los servicios disponibles a los clientes.

Considerando que la radiodifusión como la conocemos está siendo desplazada por nuevas tecnologías como la radio a través de internet y los sistemas de reproducción de música portables, el hecho de permitir diversificar la programación y entregar datos útiles para los escuchas son características necesarias para darle un nuevo impulso a este tipo de transmisión de información.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO. CARACTERÍSTICAS DEL STANDARD IBOC

1.1 INTRODUCCIÓN [1] [2]

La radio digital es un producto de la convergencia digital. Desde la década de los 90's, nuevos dispositivos electrónicos de recepción y reproducción digital, se comunican entre sí mediante sencillas interfaces. Por esta razón, ofrecen ventajas antes inexistentes en los medios analógicos. La Figura 1.1 nos muestra lo reducida que puede llegar a ser una estación radiodifusora con las ventajas que nos prestan las nuevas tecnologías digitales.



Figura 1.1 Radio digital básica¹

A partir de sistemas de adquisición y reproducción digital, que comenzaron como simples cintas de audio digital (DAT), la evolución tecnológica nos ha llevado hacia completas infraestructuras de transmisión.

De hecho, las nuevas tecnologías interconectadas permiten la aparición de nuevos modos de audiencia, gracias a la flexibilidad de los datos digitales, y a la

¹ LA RADIO DIGITAL, Revista Latinoamericana de Comunicación CHASQUI, marzo, numero 089

acelerada disminución en el precio de los chips de memoria, como lo son las memorias flash, que ahora vienen incorporadas en la mayoría de dispositivos de reproducción digital.

Un usuario de servicios digitales puede almacenar programas en el disco duro de su receptor, o en su reproductor digital de música, como el *iPod*, para reproducción posterior. Y puede recibir la información básica sobre el título y el intérprete de una canción, y permitir su compra en línea, de igual manera que es posible personalizar el tipo de datos (clima, tráfico vehicular, bolsa de valores, titulares de noticias) que se pueden visualizar en la pantalla del receptor.

En los últimos años se han realizados estudios y probado sistemas en todo el mundo para la introducción de la radiodifusión sonora digital, tanto en las bandas de frecuencias ya atribuidas a estos servicios (caso de la OM (Onda Media), OC (Onda Corta) y de la FM (Frecuencia Modulada)) o bien en nuevas bandas de frecuencias atribuidas a los servicios de radiodifusión sonora (caso del DAB (*Digital Audio Broadcasting*)). Un caso particular son los sistemas que utilizan las bandas de ondas métricas (estaciones de frecuencia modulada, entre 88 y 108 MHz).

En Europa se efectuaron estudios basados en el proyecto Eureka 147 dando como resultado la estandarización del sistema DAB. En abril de 2005 el Comité Nacional de Sistemas de Radio (NRSC) de la Administración de EE.UU. aprobó el estándar denominado NRSC-5 (sistema IBOC FM).

Con el fin de facilitar una migración gradual de los actuales sistemas de radiodifusión sonora analógicos a los sistemas digitales se han investigado sistemas que permiten realizar «*simulcast*»; esto es, transmitir en el mismo canal la señal analógica y la señal digital, sin que se originen interferencias entre ellas. La señal analógica es recogida por los antiguos receptores analógicos y la señal digital por los receptores digitales modernos.

1.2 SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL TERRENA EN LA BANDA DE ONDAS MÉTRICAS [21]

La Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT), en su Recomendación UIT-R BS.774, indica los requisitos que deberían satisfacer los futuros sistemas de radiodifusión sonora digital terrenal en las bandas de ondas métricas y decimétricas que de manera resumida son:

- Calidad de la señal de audio transmitida, comparable a los medios de grabación digital de consumo de alta calidad (disco compacto), para receptores a bordo de vehículos, portátiles y fijos.
- Mayor eficacia en lo que respecta a la utilización del espectro radioeléctrico y la potencia transmitida, comparado con los sistemas actuales de frecuencia modulada, ya que en teoría, permitiría tener más estaciones transmisoras, ya que cada una de estas ocupan menor ancho de banda en este sistema digital.
- Mejora en la calidad de funcionamiento frente condiciones de propagación multitrayecto.
- Compromiso entre robustez de la señal recibida y la calidad del audio.
- Posibilidad de reconfiguración del sistema para poder transmitir más programas a expensas de pérdida de calidad de la señal de audio.
- Posibilidad de transmitir datos asociados o no al programa.
- Posibilidad de ofrecer servicios de valor agregado.
- Posibilidad de fabricación a gran escala de receptores y antenas.

La Recomendación UIT-R BS.1114 propone que cuando alguna administración implemente los servicios de radiodifusión sonora digital terrenal en la gama de frecuencias de 30-3.000 MHz se utilice alguno de los sistemas descritos en la referida recomendación:

- Sistema digital A: proyecto Eureka 147 (Europa y otros países).
- Sistema digital F: ISDB-T (Japón).
- Sistema digital C: IBOC.

1.3 STANDARD NRSC-5 (SISTEMA IBOC FM) [4] [11] [12] [13] [14]

La tecnología IBOC (*In-band on channel*) fue desarrollada por *iBiquity Digital Corporation*, y permite a las estaciones, transmisiones simultáneas de audio digital con calidad de compresión HE-AAC (*High Efficiency AAC*) y el tradicional audio analógico, sin la necesidad de cambiar a nuevas bandas de frecuencia.

La especificación para este estándar ofrece dos modos de operación: “Totalmente Digital” y “Digital Híbrido”. De acuerdo con *iBiquity*, el nombre “HD Radio” es simplemente la marca de *iBiquity* para esta tecnología de radio digital, donde HD significa *Hybrid Digital*.

Cabe aclarar que para referirnos al sistema de radiodifusión digital en estudio, usaremos indiferentemente los términos IBOC, HD Radio y NRSC-5, siendo IBOC el nombre del sistema general desarrollado por la empresa propietaria *iBiquity Digital Corporation*, HD Radio es la marca comercial que la empresa le dio a este sistema, y NRCS-5 el estándar que norma esta tecnología. Por lo tanto, cuando nos refiramos a cualquiera de estos términos, estaremos hablando de la misma idea.

Desde el 2007, más de 1200 estaciones radiodifusoras AM y FM están transmitiendo con tecnología HD Radio, con más de 550 estaciones FM ofreciendo canales *multicast*, doblando o triplicando el número de programas disponibles a las personas que tienen acceso a los receptores digitales, ya sea adquiriendo uno, o por terceros (radiodifusión en medios de transporte y terminales por ejemplo). Estos datos se refieren a los Estados Unidos de Norteamérica, el primer país en implementar esta tecnología.

La mayoría de estaciones que han adoptado esta tecnología son las estaciones FM, mientras que las estaciones AM están actualizándose pero no con la misma rapidez, debido en parte a problemas de interferencia con las estaciones FM cercanas aun no resueltos. Como las transmisiones tradicionales AM, FM y TV, la programación de HD Radio es gratis. Sin embargo, como lo es en el caso del

nuevo estándar de televisión digital ATSC (*Advanced Television System Committee*), los consumidores deben adquirir un nuevo receptor para poder recibir las transmisiones digitales.

La información digital es transmitida usando COFDM (*Coded Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*), un método de modulación que ha sido usado en diferentes sistemas de televisión y radio digital, incluyendo DVB-T (*Digital Video Broadcasting Television*). El algoritmo de compresión de audio inicialmente propuesto fue el PAC (*Perceptual Audio Coder*) cuando el standard fue aprobado por primera vez por la FCC en el 2002, pero el sistema fue cambiado a HDC con SBR en el 2003 (basado en MPEG-4 (Moving Picture Experts Groups) HE-AAC).

En el modo híbrido digital/analógico, una HD Radio toma la señal analógica, primeramente en modo mono, luego en estéreo, y luego trata de encontrar una señal digital. Si la recepción de la señal digital se pierde, la radio regresará a la señal analógica. El mayor éxito de esta capacidad del sistema, reside en el tiempo correcto de sincronización entre las señales analógicas y digitales. Si en el futuro la FCC, o la entidad encargada de la administración de las estaciones de radio en el país, decidieran discontinuar la radio analógica, las radios HD Radio están diseñadas para hacer este cambio, con una señal de muy baja velocidad, aproximadamente transmisiones de 20 kbps.

La transmisión de datos y meta datos – como RDS (*Radio Data System*) - también es posible y están incluidos en el estándar, proveyendo títulos de las canciones o información del artista.

iBiquity Digital indica que la calidad del sonido del sistema se acerca a la de un CD y ofrece reducción de interferencia y estática.

En marzo del 2007, la FCC aprobó la utilización nacional de la tecnología de HD Radio. Mientras iBiquity es responsable del desarrollo de este estándar, y la FCC de su regulación, el Comité Nacional de Sistemas de Radio (NRSC) es el encargado de la organización del estándar para HD Radio. El estándar de HD

Radio es oficialmente conocido como NRSC-5, siendo su última versión la NRSC-5A.

1.3.1 Transmisiones FM

El modo FM híbrido digital/analógico ofrece 4 opciones que pueden llegar aproximadamente a 100, 112, 125, o 150 kbps de datos tipo lossy (datos comprimidos que después de descomprimirse no son iguales a los datos originales), dependiendo del presupuesto de energía y/o el alcance deseado.

En el futuro si la FCC decide discontinuar la radio analógica, HD Radio provee algunos modos digitales puros. En estos modos la transmisión puede ser de 270 o 300 kbps máximo, con características extras como sonido surround.

El sistema FM digital puro, provee la condición “fall back” (retornar a un estado anterior de menor calidad), que en caso de interferencia, regresa a un modo de señal de baja calidad de 20-25 kbps.

Las estaciones FM tienen la opción de subdividir su canal de datos en subcanales (FM97-HD1, -HD2, -HD3), de diferentes calidad de audio. Los múltiples servicios son similares a los encontrados en el estándar de TV digital ATSC usando transmisiones multiplexadas.

Las estaciones cambiarán eventualmente a modos totalmente digitales, lo que permitirá 3 canales de potencia total y 4 de baja potencia (7 por estación en total). Como lo define iBiquity, estos canales podrían ser divididos en canales de calidad de CD (100 kbps), calidad FM (25-50 kbps), calidad AM (12 kbps), o calidad de voz (5 kbps).

1.3.1.1 Ancho de banda

Antes de abordar este tema se debe recalcar que este estándar fue desarrollado en los Estados Unidos en respuesta a la propuesta Europea de cambiar la banda

en la que se realizan las transmisiones FM analógicas. La banda propuesta por el estándar europeo es utilizada por las fuerzas armadas de los Estados Unidos, banda sensible por la seguridad del país mencionado. Es por esto que este estándar está orientado a mantener la misma banda que se usa actualmente para las transmisiones FM analógicas. A partir de este hecho, surge el problema del ancho de banda necesario para soportar los nuevos servicios brindados por la tecnología digital y permitir un cambio gradual entre el sistema analógico y el sistema totalmente digital. La canalización de las estaciones en los Estados Unidos es de 400 kHz al igual que en nuestro país, y el ancho de banda utilizado es de 200 kHz, dejando libres los otros 200 kHz para separar las estaciones adyacentes evitando así las interferencias entre ellas. Las estaciones estadounidenses solicitaron la expansión del ancho de banda disponible para poder realizar la transición. Esta solicitud también debe ser realizada en nuestro país en caso de acoger este estándar. Las interferencias serán eludidas ya que el sistema al ser totalmente digital, permite un control preciso desde el mismo transmisor digital. Aun así se deberán tomar medidas adicionales que serán indicadas en el cuarto capítulo de este proyecto.

En el modo híbrido, una estación tiene su banda analógica de ± 130 kHz, y añade un extra de ± 70 kHz para su señal digital, tomando en total 400 kHz de ancho de banda. En el modo híbrido extendido, el ancho de banda de la señal FM es reducido para hacer espacio para portadores adicionales OFDM que llevan más datos. Por esto, las estaciones actuales FM deben discontinuar los servicios existentes de subportadoras (usualmente 92 kHz y 67 kHz) facilitando la extensión de portadores para HD Radio, ya que estos servicios pueden ser restablecidos mediante el uso de subcanales digitales que se han habilitado. También es posible discontinuar la codificación analógica estéreo, pudiendo así elevar el ancho de banda. Eventualmente las estaciones pueden elegir desechar el audio analógico e ir totalmente al sistema digital. Sin embargo, considerando que hay millones de receptores solo analógicos, no se espera que esto pase en el futuro inmediato.

La relación de potencia entre la señal analógica y la digital está estandarizada en

100 a 1. El 1% del nivel de potencia de la señal digital de las estaciones FM es suficiente para aproximarse al área de cobertura de la señal analógica.

Los avances en el diseño de los sintonizadores digitales, crearán el escenario donde la cobertura de la señal digital probablemente superara la cobertura de la señal analógica, por la facilidad de extraer información digital de una señal ruidosa. Además, aunque la FCC aun no lo aprueba, existe la opción para las estaciones para desarrollar redes de única frecuencia o *Single Frequency Network* (SFN), donde el receptor puede localizar otros transmisores FM, en la misma frecuencia, en áreas de pobre recepción dentro de su área de mercado. Esta opción será habilitada solo cuando las estaciones hayan descontinuado su servicio analógico, ya que la radio digital es significativamente inmune a la interferencia por multitrayecto.

1.4 PRINCIPIOS TEÓRICOS [5] [15] [16] [17] [19] [23]

A continuación se presentará la descripción de los sistemas clave, para poder entender con claridad la tecnología IBOC, tales como el sistema de modulación digital utilizado, el standard usado para el envío de datos a través de un sistema FM, y el códec de compresión usado.

1.4.1 COFDM

OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) — esencialmente igual a COFDM (*Coded OFDM*) — es un esquema de modulación digital multiportador, que usa un gran número de subportadoras muy cercanas para llevar los datos. Estas subportadoras típicamente se sobreponen en frecuencia, pero están diseñadas para no interferir entre ellas como es el caso del tradicional FDM, y pueden ser eficientemente separadas usando una TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER. El usar la TRF permite definir un vector, en amplitud y fase, de la información que está siendo modulada. La TRF inversa se encarga de generar este vector y la TRF de reconstruir la señal a partir de este vector transmitido. Cada subportadora es modulada con un esquema convencional de modulación

(como en QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*)) a una velocidad de símbolo baja, manteniendo la velocidad de datos similar al esquema de modulación de una sola portadora en el mismo ancho de banda. OFDM ha sido desarrollado dentro de un esquema popular para comunicaciones digitales de banda ancha, para medios inalámbricos o sobre alambres de cobre, usado en aplicaciones como TV digital y transmisión de audio, redes inalámbricas y acceso a Internet de banda ancha.

La primera ventaja de OFDM sobre el esquema de un solo portador, es la habilidad de hacer frente a condiciones severas de canal (por ejemplo, atenuación o altas frecuencias en un alambre de cobre largo y desvanecimiento selectivo) sin filtros complejos de ecualización. La ecualización de canal es simplificada porque OFDM debe ser visto como muchas señales de banda angosta lentamente moduladas, en lugar de una sola señal de banda ancha rápidamente modulada. La baja velocidad de símbolo hace el uso de intervalos de guardia entre símbolos, haciendo posible manejar el tiempo de difusión y eliminando la interferencia intersimbolo (ISI). Este mecanismo también facilita el diseño de redes de una sola frecuencia, como las señales de múltiples transmisores distantes pueden ser combinados constructivamente, en vez de interferir entre ellas como usualmente sucede.

1.4.1.1 Ventajas del esquema de modulación

- El sistema de modulación se adapta fácilmente a condiciones severas sin necesidad de una ecualización compleja.
- El sistema es robusto frente a interferencias entre canales afines de banda angosta.
- OFDM es robusto frente a la Interferencia Intersimbolo y el desvanecimiento causado por la propagación de multitrayecto.
- Alta eficiencia espectral.
- Se logra una eficiente implementación de la FFT (*Fast Fourier Transformed*).
- El sistema es casi inmune a errores de tiempo de sincronización.

- Este sistema no necesita filtros receptores de subcanales sintonizados (a diferencia de FDM).

1.4.1.2 Desventajas del esquema de modulación

- Sensible a el efecto *Doppler*.
- Sensible a problemas de sincronización de frecuencia.
- Baja eficiencia en potencia, y se necesita circuitería costosa, ya que para cada portadora de banda angosta (en algunos casos más de 8000), se necesita integradores, osciladores.

1.4.1.3 Funcionamiento

A continuación se describirán aspectos específicos que permiten explicar el funcionamiento de este sistema de modulación digital.

1.4.1.3.1 Modulación Ortogonal

Se dice que dos señales, $f(t)$ y $g(t)$, son ortogonales en un intervalo de tiempo cuando cumplen la condición,

$$\int_{t_1}^{t_2} f(t)g(t)dt = 0 \quad (1.1)$$

Cuando dos señales son ortogonales, es posible hacer que utilicen simultáneamente el mismo ancho de banda sin interferirse entre sí. El caso más simple es el de la modulación de dos señales en cuadratura de fase, que se presenta en la figura 1.2

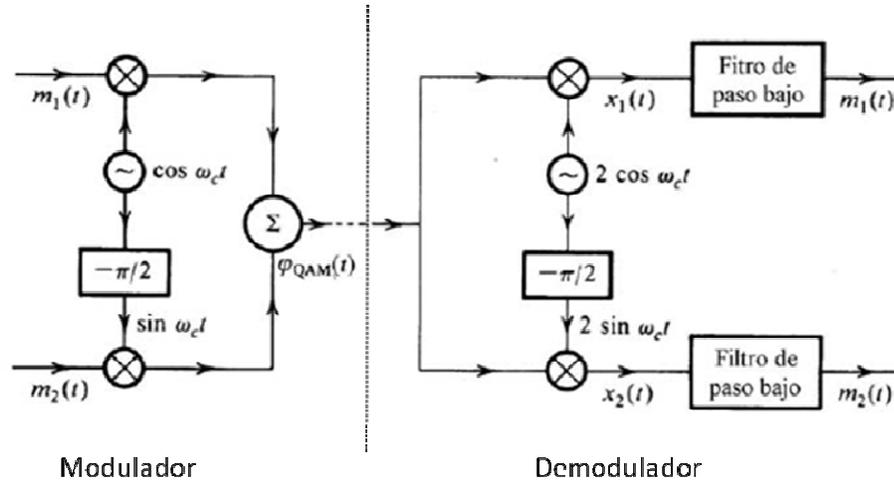


Figura 1.2 Esquema de modulación y demodulación QAM²

En la parte izquierda de la figura se muestra el modulador, y en la derecha, el demodulador. Las señales de información o moduladoras son $m_1(t)$ y $m_2(t)$. La primera modula una portadora de frecuencia angular ω_c ($\cos \omega_c t$) y la segunda, a otra portadora de la misma frecuencia que la primera, pero desfasada 90° ($\sin \omega_c t$). Las dos señales se suman para producir una señal de dos bandas laterales en cuadratura de fase, que puede expresarse como:

$$\varphi_{QAM} = m_1(t)\cos \omega_c t + m_2(t)\sin \omega_c t \quad (1.2)$$

Suponiendo, por simplicidad en el análisis, que $m_1(t)$ y $m_2(t)$, son tonos puros, de forma

$$m_1(t) = A \cos \omega_{m_1} t \quad (1.3)$$

$$m_2(t) = A \cos \omega_{m_2} t \quad (1.4)$$

Estas dos señales pueden recuperarse en el receptor mediante un detector síncrono, como podemos ver en la parte derecha de la figura 1.3. La salida del mezclador de la parte superior de la figura, $x_1(t)$ está dada por:

² TRANSMISIÓN DE TELEVISION, Modulación COFDM, Constantino Pérez Vega - 2004

$$\begin{aligned}
 x_1(t) &= 2\varphi_{QAM}(t)\cos\omega_c t \\
 &= 2[m_1(t)\cos\omega_c t + m_2(t)\text{sen}\omega_c t]\cos\omega_c t \quad (1.5) \\
 &= m_1(t) + m_1(t)\cos 2\omega_c t + m_2(t)\text{sen}2\omega_c t
 \end{aligned}$$

Los dos últimos términos mostrados en la Ecuación 1.5 desaparecen después de pasar por el filtro pasa bajos, dejando solo la señal deseada a la salida, $m_1(t)$. El mismo análisis es válido para $m_2(t)$. Este sistema se conoce como modulación en cuadratura de fase y se designa habitualmente como QAM.

Las señales utilizadas, cumplen la condición de ortogonalidad. Esta condición, en el caso de señales complejas tiene la forma, (el asterisco indica complejo conjugado):

1.4.1.3.2 Interferencia por efectos multicamino

Cuando en sistemas inalámbricos de transmisión digital, el medio de propagación presenta obstáculos para las señales transmitidas, estas señales que son emitidas en todas las direcciones, tomarán diferentes caminos hasta el receptor, las cuales al llegar se sumarán de forma destructiva o constructiva dependiendo del caso. Este efecto es conocido como el efecto multicamino o multitrayectoria.

En comunicaciones digitales la interferencia por efectos multicamino se traduce en interferencia entre símbolos, y en la consiguiente pérdida de los datos. Esto se elimina aumentando el periodo durante el cual el receptor realiza el proceso de integración matemática de la señal, es decir, utilizando un intervalo de guarda.

Este intervalo de guarda, depende del sistema a utilizarse y las condiciones físicas donde se realizará la comunicación. Entonces, si se conoce de antemano que las comunicaciones serán en un ambiente cerrado, se calibrará este tiempo de guarda para esas condiciones, de igual manera para el caso contrario. Este tiempo de guarda viene definido en el estándar de la tecnología donde se utilice.

1.4.1.3.3 Constelaciones Básicas

Para lograr la modulación OFDM, los datos de entrada se “mapean” en símbolos, modulando a cada una de las subportadoras individuales. Esta modulación puede ser de diferentes tipos, entre las que se encuentran QPSK, 4QAM, 16QAM y 64QAM.

Estas modulaciones son conocidas como modulaciones de constelación. En la Figura 1.3 se presentan tres ejemplos de constelaciones básicas.

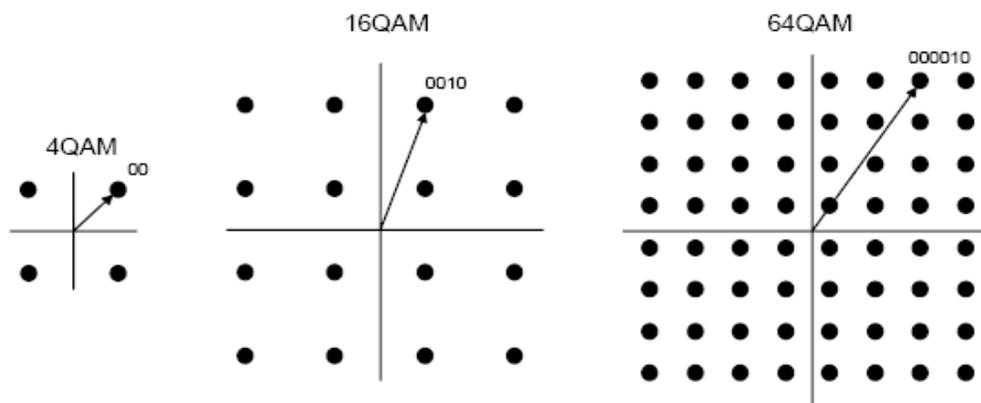


Figura 1.3 Ejemplos de constelaciones básicas usadas en la modulación OFDM³

Cada punto de la constelación se puede representar por un número complejo. Por lo tanto, la primera etapa dentro del proceso de modulación OFDM es la de mapear los símbolos en las componentes real e imaginaria que corresponden al número complejo en la constelación. Cada constelación tiene una robustez propia, y depende en gran medida del número de puntos en la constelación. Una constelación es más robusta mientras menos puntos tenga esta, entonces, podemos ver que 4QAM es más robusta que 64QAM.

1.4.1.3.4 Intervalo de guarda

Las subportadoras están moduladas por señales representadas por números

³ TRANSMISIÓN DE TELEVISION, Modulación COFDM, Constantino Pérez Vega - 2004

complejos, que cambian de un símbolo a otro. Si el periodo de integración en el receptor se extiende a una duración de dos símbolos, no solamente habrá ISI sobre la portadora correspondiente al símbolo, sino que además habrá ICI (Interferencia entre subportadoras), con la pérdida de información resultante. Para evitar esta situación, se agrega un intervalo de guarda, como se muestra en la figura 1.4.

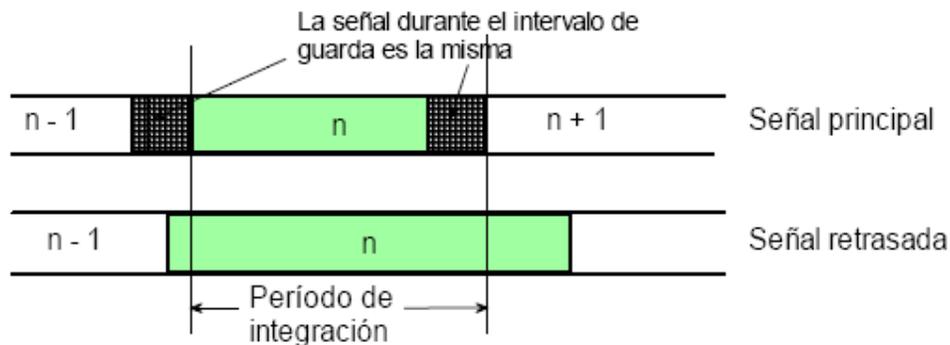


Figura 1.4 Intervalo de guarda usado en cada símbolo COFDM⁴

La duración del símbolo se aumenta de modo que exceda el periodo de integración del receptor. Todas las subportadoras son cíclicas durante el periodo de integración. Por ello el segmento que se añade al inicio del símbolo para formar el intervalo de guarda, es idéntico al segmento de la misma longitud al final del símbolo. Mientras que el retardo sufrido por la señal a lo largo de cualquier trayecto, con respecto al trayecto más corto sea menor que el intervalo de guarda, todas las componentes de la señal durante el periodo de integración proceden del mismo símbolo y se satisface la condición de ortogonalidad.

El intervalo de guarda se elige de acuerdo al retardo esperado en el medio particular de propagación en el que se lleva la comunicación. En radiodifusión digital de audio, el intervalo de guarda utilizado es de 0.246 periodos de integración. Durante el periodo del intervalo de guarda, el receptor ignora la señal recibida.

⁴ TRANSMISIÓN DE TELEVISION, Modulación COFDM, Constantino Pérez Vega - 2004

1.4.1.3.5 Modulador y demodulador OFDM

La señal de entrada al modulador OFDM es un flujo binario continuo. Este flujo se segmenta en símbolos, de acuerdo a la constelación a utilizar y se obtiene un mapa de los símbolos, representados por números complejos, que serían la representación de la señal en el dominio de la frecuencia.

Si vamos a modular N subportadoras, se necesitaría convertir este flujo de entrada en serie, en un flujo de coeficientes complejos en paralelo. Luego se realiza la IFFT (Transformada Inversa de Fourier) sobre los N coeficientes, obteniendo así una señal en el dominio del tiempo. Esta señal es enviada al modulador de RF (Radio Frecuencia). El diagrama de bloques se presenta en la figura 1.5.

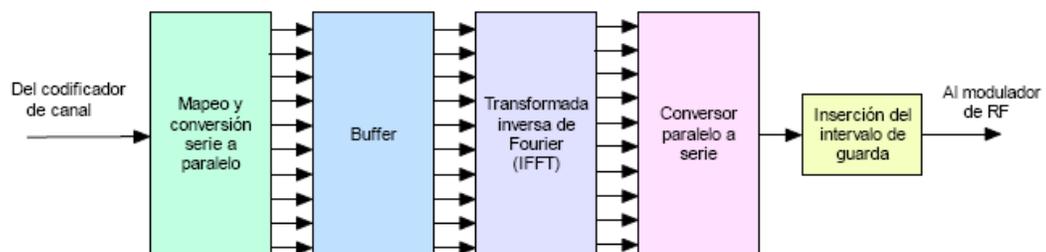


Figura 1.5 Diagrama de bloques del modulador COFDM⁵

El demodulador cumple la función inversa del modulador y el diagrama simplificado de bloques se presenta en la figura 1.6.

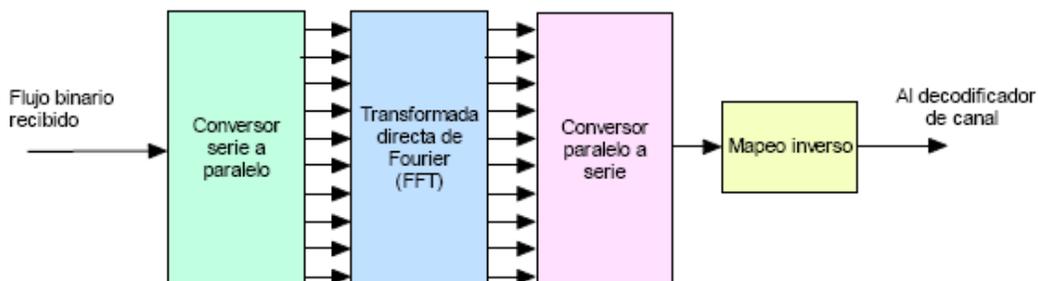


Figura 1.6 Diagrama de bloques del demodulador COFDM⁶

⁵ TRANSMISIÓN DE TELEVISION, Modulación COFDM, Constantino Pérez Vega - 2004

⁶ TRANSMISIÓN DE TELEVISION, Modulación COFDM, Constantino Pérez Vega - 2004

1.4.1.3.6 Modulación Jerárquica

Los sistemas de transmisión de resolución única sufren de un efecto abrupto de umbral en el borde del área de servicio en que la señal se degrada completamente, a diferencia de los sistemas analógicos en que la degradación es suave.

Para reducir estos problemas se pueden utilizar esquemas de modulación jerárquica o de multiresolución, en que dos flujos distintos de datos modulan a un flujo único. Algunos sistemas usan estos métodos para aumentar el área de cobertura de los sistemas de transmisión inalámbricos digitales, mientras que otros sistemas como el IBOC usan QPSK para el transporte de datos de control, siendo esta modulación más robusta que una 16QAM, ya que QPSK solo posee 4 puntos en su constelación.

1.4.1.3.7 Modelo simplificado del sistema COFDM

En esta sección se explica en forma breve con un ejemplo como funciona un sistema COFDM basándose en un modelo simplificado. Se asume que el canal de comunicaciones no sufre de ningún tipo de interferencia o otro tipo de degradación que podría afectar la señal transmitida.

En la figura 1.7 se muestra el modelo simplificado de un transmisor COFDM con el que se desea transmitir unos bits de datos que se ingresan al codificador FEC (Forward Error-Correction: Corrector de error Frontal) en este caso es el codificador convolucional que da redundancia a los bits transmitidos, posibilitando la corrección de errores en el demodulador, luego se agrupan varios bits en el entrelazador de frecuencia para causar un desorden pseudoaleatorio con lo que se consigue distribuir los bits de datos entre las portadoras dentro de un símbolo OFDM para así mejorar el desempeño del decodificador de Viterbi en el demodulador COFDM.

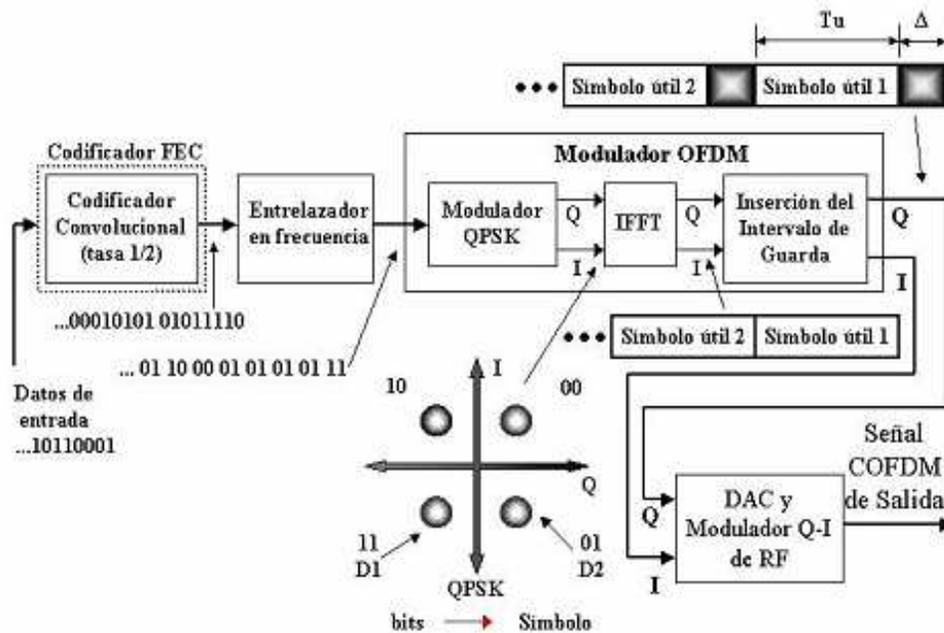


Figura 1.7 Transmisor OFDM⁷

Posteriormente los bits de datos codificados y entrelazados en frecuencia ingresan al modulador OFDM que tiene como función ir tomando de a dos bits para modularlo con QPSK sucesivamente pasando de bits a símbolos de datos, después se realiza la IFFT (Transformada rápida de Fourier inversa) que consisten en agrupar 8 símbolos que corresponde a 8 puntos que va a procesar la IFFT a la vez, para luego generar un símbolo útil formado por 8 muestras con duración T_u constituido por 8 portadoras ortogonales entre sí (separadas en frecuencia en múltiplos de $1/T_u$) y finalmente se inserta un intervalo de guarda que tiene como función eliminar la ISI, este último es una extensión cíclica de IFFT que es solo una copia de un determinado número de las últimas muestras de la salida de la IFFT que son muestras agregadas al comienzo del símbolo útil, es decir, la IFFT genera un solo símbolo que es llamado símbolo OFDM, el cual está formado por un símbolo útil y un intervalo de guarda. Ahora la señal a transmitir se debe ajustar debido que está en banda base, la salida Q-I es todavía digital para ello es necesario convertirla a una señal analógica usando dos convertidores digital-

⁷ MULTIPLEXACION POR DIVISION DE FRECUENCIA ORTOGONAL CODIFICADA, Alfonso Efraim Jara Cardenas

analógico (DAC), para luego ser modulada en RF usando un modulador en cuadratura. En la figura 1.8 se aprecia que a señal COFDM de salida posee 8 portadoras que son ortogonales entre sí, que están centradas a una frecuencia central f_c en un ancho de banda (BW), donde una trama OFDM esta constituida por 4 símbolos OFDM generado por la IFFT para este ejemplo.

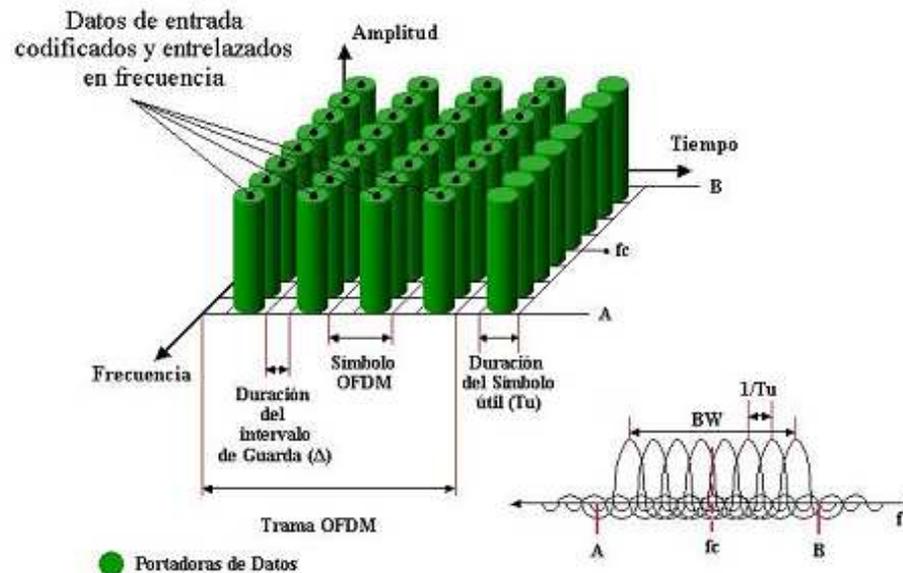


Figura 1.8 Señal de salida COFDM⁸

El ancho de banda (BW) es cociente entre el número de portadora (N_p) y la duración del símbolo útil (T_u) que esta representada por la siguiente expresión:

$$BW = \frac{N_p}{T_u} \text{ (Hz)}$$

La tasa binaria a transmitir (T_b) es:

$$T_b = \frac{N_p}{T_u + \Delta} \times N_{bm} \times T_c \text{ (bits/seg)}$$

NP es el número de portadora datos, Nbm es el número de bit por símbolo del esquema de modulación empleadas por las portadoras de datos (por ejemplo 6 bit

⁸ MULTIPLEXACION POR DIVISION DE FRECUENCIA ORTOGONAL CODIFICADA, Alfonso Efrain Jara Cardenas

para de QAM-64), T_u es la duración del símbolo útil, T_c es la tasa del codificador FEC y Δ es la duración del intervalo de guarda

El receptor COFDM que se muestra en la figura se asume que la señal transmitida llega en forma íntegra, es decir, no sufre de ningún tipo de degradación o interferencia y vuelve en fase al receptor para así obviar la parte de sincronización en el receptor y ecualización. La señal recibida ingresa al demodulador de RF y la salida Q-I análogas son convertidas a Q-I digitales usando dos ADC (conversor análogo digital) para ello se hace un muestreo de la señal COFDM con un periodo de muestreo T_u/N_p , luego ingresan las señales Q-I en banda base al demodulador OFDM que tiene como función eliminar el intervalo guarda con lo que se elimina las primeras muestra que contienen el intervalo de guarda, después se realiza FFT donde se agrupan 8 muestra que va procesar para entregar 8 símbolos que van hacer demodulados cada uno finalmente por el demodulador QPSK pasando de símbolo a bits. Posteriormente un grupo de bits es agrupado en el desentrelazador en frecuencia para reordenarlos y pasarlos al decodificador de Viterbi que tiene como función habilitar la corrección de errores en el receptor, recuperando así los bits de datos transmitidos.

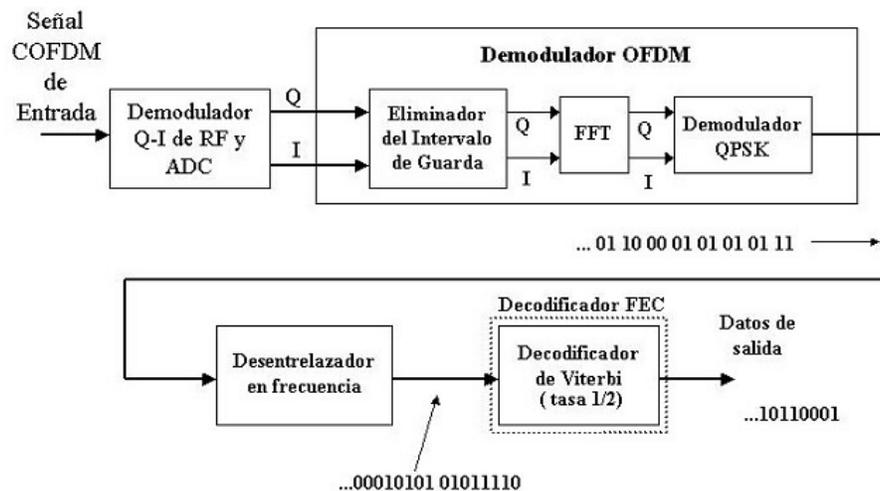


Figura 1.9 Receptor COFDM⁹

⁹ MULTIPLEXACION POR DIVISION DE FRECUENCIA ORTOGONAL CODIFICADA, Alfonso Efrain Jara Cardenas

1.4.2 Codificación avanzada de audio de alta eficiencia (HE – AAC)

High Efficiency AAC es un esquema de compresión de datos tipo *lossy* para audio digital. Es una extensión de LC – ACC (*Low Complexity AAC*) optimizado para aplicaciones de velocidad de transmisión baja, como la radiodifusión de audio. HE-AAC version 1 (*HE-AAC v1*) usa Replicación Espectral de Banda o *Spectral Band Replication* (SBR) para mejorar la eficiencia de la compresión en el dominio de la frecuencia. HE-AAC version 2 (HE-AAC v2) acopla SBR con Estereo Paramétrico (*Parametric Stereo* (PS)) para mejorar la eficiencia de compresión de señales estéreo.

HE-AAC version 1 fue estandarizada en el 2003 por MPEG y publicada como parte de MPEG-4 en el documento ISO/IEC 14496-3, Amd.1:2003. HE AAC version 2 fue estandarizada en 2004 por MPEG y publicada como parte de MPEG-4 en el documento ISO/IEC 14496-3, Amd.2:2004.

El padre de HE-AAC fue desarrollado por *Coding Technologies* sobre la marca CT-aacPlus. CT-aacPlus combinó MPEG-2 AAC LC con *Spectral Band Replication* (SBR). CT-aacPlus es el codec usado por *XM Radio* para su servicio de radio por satélite.

1.4.2.1 Calidad percibida

Pruebas científicas realizadas por la *European Broadcasting Union* han indicado que HE-AAC a una velocidad de 48 kbps fue calificada con una calidad “Excelente” usando la escala MUSHRA (*MUltiple Stimuli with Hidden Reference and Anchor*). MP3 en las mismas pruebas, recibió una calificación menor que la mitad de la calificación que recibió HE-AAC.

Otras pruebas indicaron que material decodificado de HE-AAC a 64 kbps aun no tiene la misma calidad de audio que el material decodificado de MP3 a 128 kbps usando codificadores de alta calidad. Con esto podemos ver, que el códec utilizado es el ideal bajo las condiciones de baja velocidad inherentes al sistema IBOC.

Los decodificadores MPEG-2 y MPEG-4 AAC LC sin el soporte de SBR, decodificarán la parte de audio AAC LC, resultando una salida de audio a solo la mitad de la frecuencia de muestreo, reduciendo el ancho de banda del audio.

El día de hoy, HE-AAC solo es compatible con el codec de baja velocidad de Microsoft, WMA Professional.

1.4.2.2 Replicación Espectral de Banda (SBR)

La Replicación Espectral de Banda (*Spectral band replication (SBR)*) es una tecnología para mejorar audio, especialmente a bajas velocidades y está basado en la redundancia de armónicos en el dominio de la frecuencia.

Puede ser combinado con cualquier codec de compresión: el codec en si mismo transmite las frecuencias bajas y medias del espectro, mientras que SBR replica las frecuencias altas transponiendo los armónicos bajos y medios del decodificador. Alguna información de guía de reconstrucción del espectro de frecuencias altas es transmitida como información adicional.

El acierto de la idea SBR es que está basada en el principio de que la parte psicoacústica del cerebro humano analiza las altas frecuencias con poca facilidad, y que el fenómeno armónico asociado con el proceso de SBR necesita solo ser acertado en el sentido de la percepción y no debe ser exacto en el sentido técnico o matemático.

1.4.3 Sistema de Radiodifusión de Datos (RDS)

El sistema de radiodifusión de datos (*Radio Data System (RDS)*), es una técnica que permite añadir, de forma no audible, información relacionada con los programas de radio en frecuencia modulada.

La señal digital que contiene dicha información, se transmite con una velocidad de 1187.5 bps y modula una subportadora de 57 kHz, utilizando el método de

modulación de amplitud con portadora suprimida, que se suma a la señal múltiple estereofónica a la entrada del transmisor de frecuencia modulada.

Entre sus principales aplicaciones cabe destacar:

1. La sintonía automática del receptor a una red de emisoras seleccionada por el usuario, lo cual, le permite escuchar el mismo programa, durante un largo viaje por carretera, sin necesidad de sintonizar manualmente el receptor a otro centro emisor de la misma red, cuando la recepción pasa a ser deficiente al salir de la zona de servicio de un centro emisor determinado.
2. La presentación en la pantalla del receptor del nombre de la red de emisoras que está escuchando, y del tipo de programa que está recibiendo en ese momento: noticias, asuntos generales, deportes, música, variedades, religioso, etc.
3. La recepción automática de información relacionada con el tráfico vehicular. Cuando se selecciona esta característica se da prioridad a las noticias sobre el tráfico, de forma que el receptor conmutará, de forma automática, dentro de una misma red, a la emisora que emita información sobre el tráfico, y una vez terminada dicha información volverá a sintonizar, automáticamente, la emisora que previamente estaba seleccionada.

El sistema RDS emite la siguiente información, aunque dependiendo de la emisora, solo se emitirá parte de ella. El más completo es el de Radio Nacional de España que tiene todas esas funciones, aunque hay mas funciones que existen y no utiliza. En la siguiente lista, se enumeran los diferentes tipos de servicios de datos que pueden ser utilizados con sus siglas en inglés:

- Identificación de la red de emisoras (PI)
- Nombre de la red de emisoras (PS)
- Frecuencias alternativas (AF)
- Identificación de red con programas de tráfico (TP)

- Tipo de programa (PTY)
- Información sobre otras redes de emisoras (EON)
- Identificación de información sobre el tráfico (TA)
- Identificación para el descodificador (DI)
- Conmutador música/palabra (MS)
- Número relacionado con la fecha y hora de emisión de un programa determinado (PIN)
- Radiotexto (RT)
- Canal transparente de datos (TDC)
- Aplicaciones internas (IH)
- Fecha y hora (CT)
- Radiobúsqueda (RP)
- Canal de mensajes de tráfico codificado (TMC)
- Sistema de aviso de emergencia (EWS)
- Aunque todavía se van a sacar muchas utilidades al RDS

Más información sobre la definición de cada uno de estos servicios se encontrará en el anexo A.

1.5 SISTEMA IBOC FM [4] [5] [23] [25]

A continuación se explicará el funcionamiento básico del sistema IBOC FM. Las siglas IBOC se refieren a *In Band On Channel* que significa “por canal dentro de banda”.

Los modos en que puede funcionar este sistema son tres básicamente: Modo híbrido, modo híbrido ampliado y modo totalmente digital. Los tipos de servicios y ventajas que presentan estos métodos se presentarán con más detalle en el siguiente capítulo.

Cuando hablamos del modo híbrido, nos referimos a la transmisión de la información analógica y de la misma información en modo digital. Esto se logra

reduciendo el ancho de banda del audio analógico e insertando bandas laterales primarias a ambos lados de la señal analógica.

Por otro lado, el modo híbrido ampliado es igual que el modo híbrido, pero aumentando el ancho de banda usado para las bandas laterales digitales. Finalmente el modo totalmente digital, utiliza todo el ancho de banda para la transmisión digital.

1.5.1 Bloques funcionales del sistema

El sistema IBOC está compuesto por los siguientes bloques o componentes básicos:

- Codificador y compresor de audio
- Codificación de canal
- Entrelazado en tiempo y en frecuencia
- Generador de señales OFDM
- Subsistema de transmisión

En la figura 1.10 se presenta un esquema de estos bloques básicos que forman parte del sistema IBOC FM.

El primer paso es digitalizar el audio de la transmisión deseada ya sea en vivo o previamente grabada. Estos datos son unidos a los datos y servicios suplementarios prestados por el sistema.

Estos datos, alimentan el dispositivo que se encarga de la aleatorización de datos. Los modos de servicios se pueden configurar a partir de 4 canales lógicos principales denominados P1, P2, P3 y PIDS y 6 canales lógicos secundarios denominados S1, S2, S3, S4, S5, y SIDS.

Los canales lógicos P1, P2 y P3 sirven para configurar los servicios de audio primario, mientras que el canal PIDS se usa para configurar el servicio de datos primario.

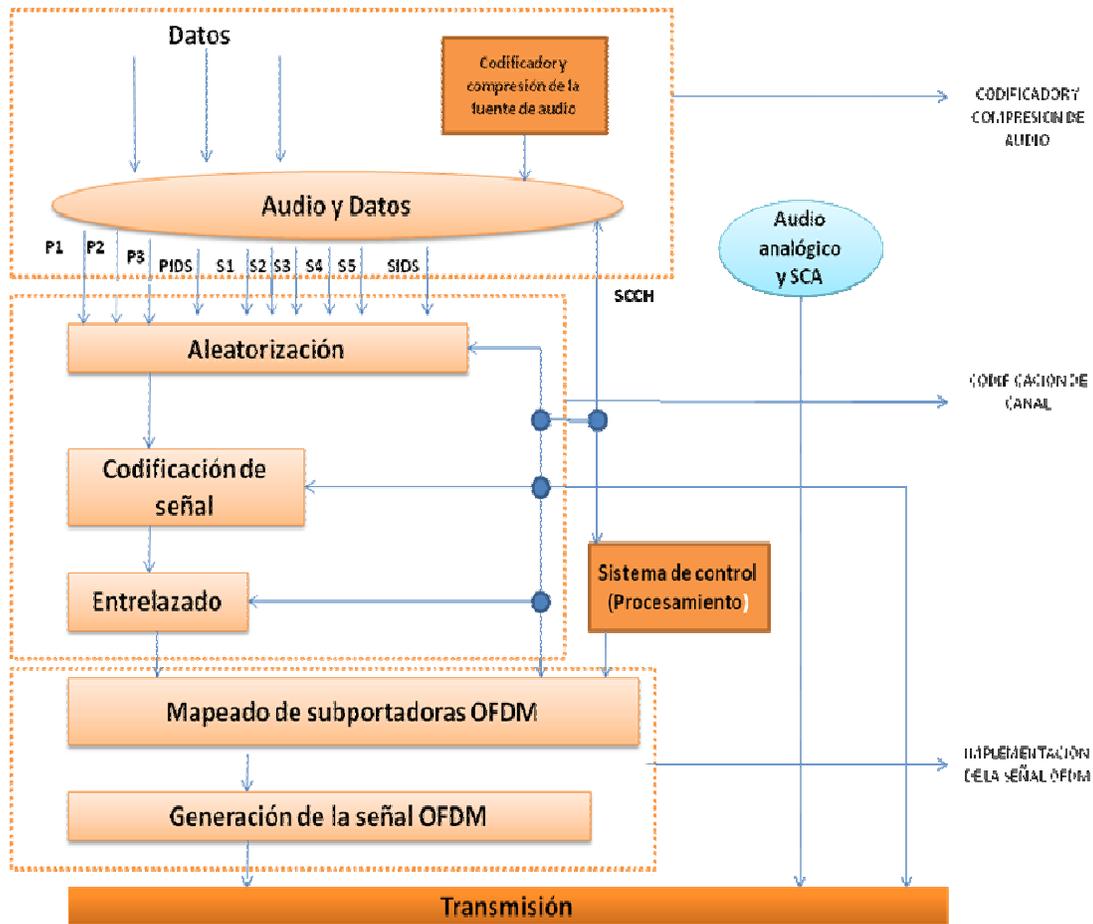


Figura 1.10 Bloques funcionales del sistema IBOC FM.¹⁰

Los canales secundarios son usados únicamente en el modo totalmente digital. El canal SCCH (*System Control Channel*) es usado para el transporte de señales de control, modos de funcionamiento, etc.

1.5.1.1 Codificación y compresión de audio

La tarea de este bloque, es principalmente reducir la tasa de bits necesaria para una transmisión de audio de calidad. Esto se logra aprovechando el efecto psicoacústico que no permite al oído humano detectar las frecuencias altas del audio. Con una velocidad de tan solo 96 kbps se logra una calidad de audio comparada con la calidad de un disco compacto.

¹⁰ LA FM DIGITAL. SISTEMA IBOC DIGITAL, Luis del Amo

El sistema IBOC propone las velocidades nominales y mínimas de los codificadores de audio para cada modo de funcionamiento. No obstante, el sistema no propone un codificador de fuente específico, aunque se pueden citar dos que fueron usados en las pruebas de validación, MPEG-2 AAC y PAC. En estas pruebas se utilizaron frecuencias de muestreo de 44.1 kHz y una resolución de 16 bits por muestra.

1.5.1.2 Codificación del canal

Para este proceso de codificación se han diseñado técnicas específicas de corrección de errores FEC (*Forward Error Correction*) basadas en el análisis de la banda de frecuencia sobre la que se trabaja y las interferencias asociadas a estas.

Esto quiere decir, que durante el proceso de codificación se añaden bits redundantes para detectar errores y corregirlos, disminuyendo así la probabilidad de que se produzca un error en el receptor. El sistema IBOC FM utiliza códigos convolucionales de Viterbi.

Cuando los errores se encuentran en un intervalo de larga duración, la corrección de los errores es más difícil. Es por eso que se realiza un entrelazado en tiempo de los símbolos, logrando así que si existen errores estos se dispersen y su corrección sea más sencilla. En el receptor, estos símbolos desordenados son reordenados para su lectura.

De igual manera, por efectos de propagación se pueden tener problemas de desvanecimiento selectivo en ciertas portadoras adyacentes. Realizando el mismo entrelazado, ahora en frecuencia, se logra que estos errores se dispersen y puedan ser corregidos en el receptor.

1.5.1.3 Implementación de la señal OFDM

El primer término que debemos entender es el de “divisiones de frecuencia”. Cada división de frecuencia es un grupo de subportadoras OFDM. Cada una de estas divisiones están constituidas por 18 subportadoras de datos y una más de referencia, 19 en total. Se pueden diferenciar dos tipos de ordenamiento. El tipo A y el tipo B.

Estas portadoras están espaciadas 363,73 Hz. Dentro del ancho de banda reservado se tendrían un total de 30 de estas divisiones.

1.5.1.4 Espectro de la señal IBOC FM

A continuación se describen las diferentes formas resultantes del espectro de una onda IBOC FM en el dominio de la frecuencia dependiendo de la configuración de transmisión adoptada.

1.5.1.4.1 Espectro del modo híbrido

Como dijimos anteriormente (ver **1.3.1.1 Ancho de Banda**), para la señal digital en el modo híbrido se toman aproximadamente 70 KHz de cada lado. Para obtener esta señal, lo que se hace es insertar las bandas laterales digitales a la señal analógica. La Figura 1.11 muestra una representación del espectro del modo IBOC FM híbrido.

Tomando en cuenta estas consideraciones, podemos decir que para este modo se toman desde la portadora 356 hasta la 545 de cada lado, es decir 10 divisiones de frecuencia. La última portadora, la 546, servirá como portadora de referencia.

El nivel de estas portadoras digitales es alrededor de 23 dB por debajo de la potencia de la señal analógica.

1.5.1.4.2 Espectro del modo híbrido ampliado

Este modo es igual que el modo híbrido normal, con un aumento de las portadoras en las bandas laterales. El número de portadoras que se aumenta

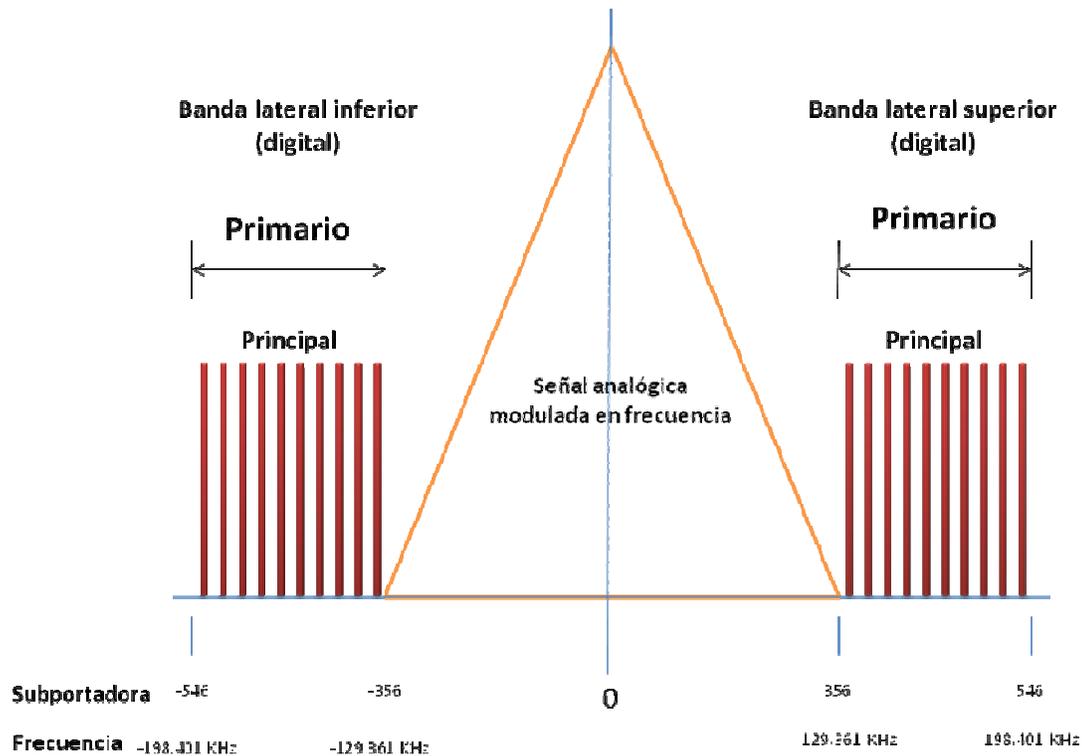


Figura 1.11 Espectro del sistema IBOC FM Híbrido¹¹

depende del tipo de servicio que se vaya a prestar, pudiéndose aumentar hasta 4 divisiones de frecuencia, es decir 36 subportadoras, tomando este ancho de banda de la señal analógica.

Las subportadoras aumentadas irían desde la 280 hasta la 356 en ambas bandas. El nivel de potencia de esta banda extendida es el mismo nivel del de las bandas principales digitales. La Figura 1.12 muestra el espectro para este modo de transmisión.

¹¹ LA FM DIGITAL. SISTEMA IBOC DIGITAL, Luis del Amo

1.5.1.4.3 Espectro del modo totalmente digital

En este modo, la señal analógica no existe, por lo que se toma todo el ancho de banda para la transmisión digital.

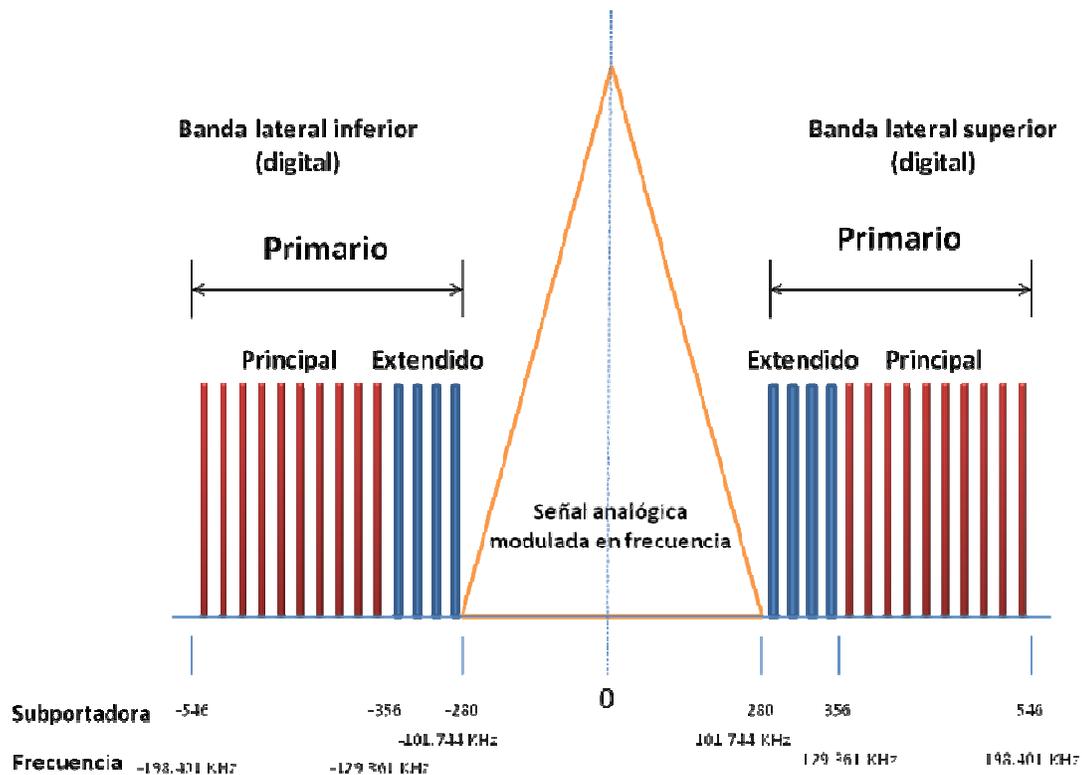


Figura 1.12 Espectro del sistema IBOC FM Híbrido ampliado¹²

Cada banda lateral está constituida por 10 divisiones de frecuencia principales y 4 divisiones extendidas.

En la Figura 1.13 podemos apreciar el espectro de la señal IBOC FM totalmente digital.

Las subportadoras 279 en cada banda lateral, son usadas como subportadoras de referencia. Además 12 subportadoras protegidas localizadas en el sector del

¹² LA FM DIGITAL. SISTEMA IBOC DIGITAL, Luis del Amo

espectro donde los principales problemas de interferencia son menos probables, son usadas también como referencia. Estas subportadoras protegidas se encuentran entre la subportadora 267 y la 278.

Las bandas laterales secundarias van desde las subportadoras 1 hasta la 190 en ambas bandas. Desde la subportadora 191 hasta la 266 comprende las bandas laterales secundarias extendidas.

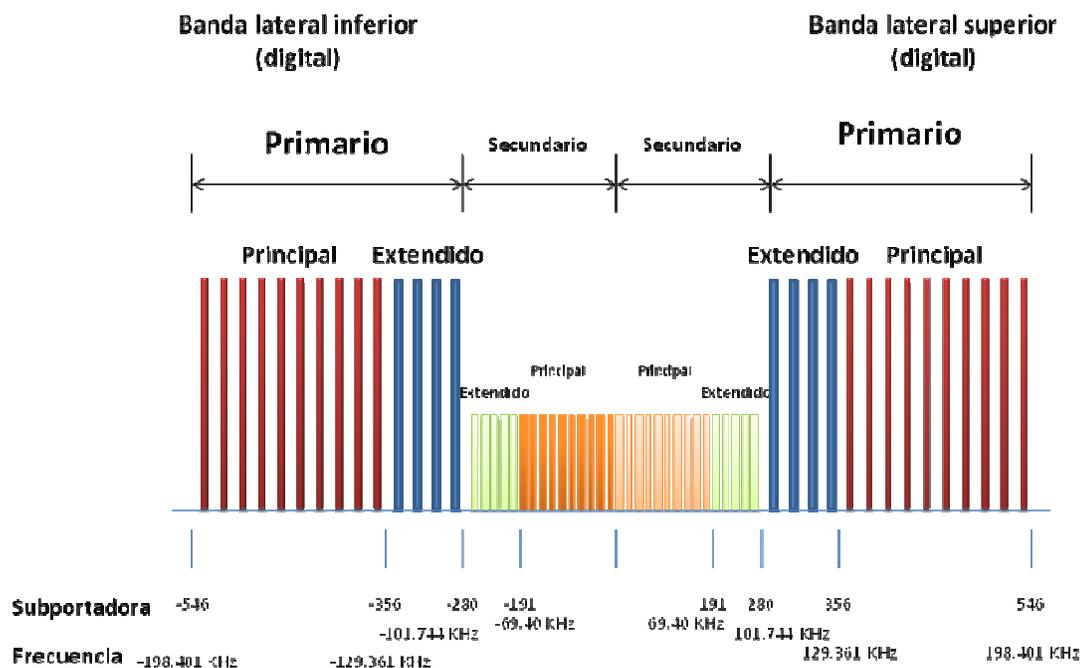


Figura 1.13 Espectro del sistema IBOC FM totalmente digital¹³

En este modo la potencia de la señal digital estará unos 10 dB por encima de la potencia usada en el modo híbrido e híbrido extendido, mientras que las subportadoras secundarias estarán entre unos 5 y 20 dB por debajo de las subportadoras principales.

1.5.2 Enlace Estudio – Transmisor

Lo importante en este punto, es considerar si el proceso de enlace, o los equipos

¹³ LA FM DIGITAL. SISTEMA IBOC DIGITAL, Luis del Amo

que realizan el enlace entre la estación y el transmisor, realizan un proceso de compresión de los datos.

De la misma manera que en el punto anterior podemos decir que de nada vale mejorar la calidad en la transmisión y recepción, si el audio transmitido ha sido expuesto a un sinnúmero de procesos que estropeen su calidad.

Ciertos equipos de enlace estudio – transmisor utilizan procesos de compresión de los datos. Sin embargo hay algunos que permiten al usuario controlar esta compresión que en nuestro caso – transmisión de audio en vivo – es lo ideal, ya que evitamos una nueva compresión que sería perjudicial para la calidad del audio transmitido.

1.5.3 El transmisor FM

En este punto nos centraremos en un solo modo que será el híbrido ya que representa el sistema más complejo en lo que se refiere a la transmisión de la señal.

En cambio, en el modo híbrido, podemos encontrar 3 formas o métodos para producir dicha señal híbrida. Estas formas dependerán en gran medida, del tipo de evolución que se siga, es decir, si la implementación de la estación digital se realizará a partir de instalaciones existentes o la implementación compromete la creación de una estación totalmente nueva.

Dos de estos métodos comprometen el uso de una sola antena, la que normalmente ya existe en la estación. El tercero se refiere al uso de dos antenas por separado. A continuación describiremos estos tres métodos, sus fortalezas y debilidades, y cómo influyen al momento de tomar una decisión en el diseño de nuestra estación digital.

1.5.3.1 Combinación de alto nivel

En la Figura 1.14 vemos el esquema de este método de transmisión. Las señales, analógica y digital, se unirán en un combinador. Esta señal será la que alimente a la antena transmisora.

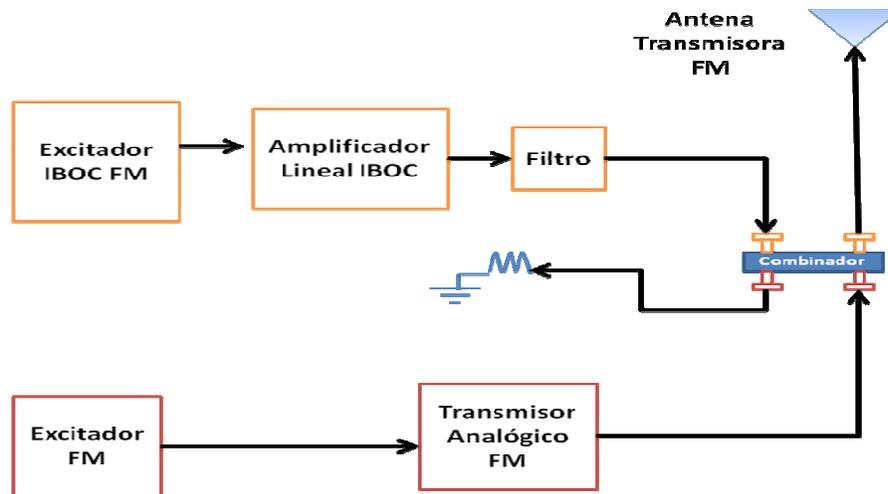


Figura 1.14 Diagrama de bloques de una amplificación usando combinación de alto nivel o amplificación por separado.¹⁴

En este método son más frecuentes las pérdidas de potencia debido a las diferencias de potencias que ingresan en el combinador. En algunos combinadores usados en pruebas de IBOC, se tienen pérdidas de potencia de un 10% (0.5 dB) en la señal analógica y de un 90% (10 dB) en la señal digital. Aun así, esta pérdida en la señal digital es tolerable ya que se requiere una diferencia de -20 dB con respecto a la señal analógica.

Entonces, si nuestro transmisor FM necesitaba 10 KW, ahora deberá tener una potencia de 11.1 KW para compensar las pérdidas en el combinador. La señal digital debe guardar una relación de -20 dB con la señal analógica, la potencia de transmisión deberá ser de 100 W después del combinador. Antes del combinador deberá tener una potencia de 1 KW.

¹⁴ CONVERSION REQUIREMENTS FOR AM & FM IBOC TRANSMISSION, Jeff R. Detweiler, iBiquity Digital Corporation

Además se debe tomar en cuenta un promedio de 5.5 dB de pérdidas en la señal digital, debido a la variación de fase y amplitud correspondiente a la modulación OFDM.

1.5.3.2 Combinación de bajo nivel

Este método, también llamado de amplificación común, consiste en combinar las salidas de los excitadores tanto FM como IBOC. Esta salida alimenta un amplificador lineal que cumple con los requerimientos de potencia.

La Figura 1.15 nos muestra el esquema de este método. Este método reduce el número de elementos independientes además de reducir el consumo de potencia.

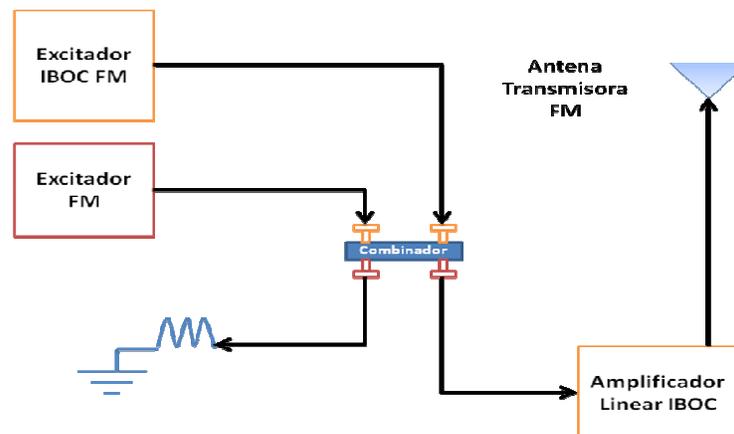


Figura 1.15 Diagrama de bloques de una amplificación usando combinación de bajo nivel o amplificación común.¹⁵

1.5.3.3 Implementación de antenas separadas

Este método está aun en investigación y su esquema se muestra en la Figura

¹⁵ CONVERSION REQUIREMENTS FOR AM & FM IBOC TRANSMISION, Jeff R. Detweiler, iBiquity

1.16. Pruebas preliminares indican que la señal IBOC puede ser transmitida por una antena independiente a la antena utilizada para la transmisión de la señal FM, mientras estas guarden una distancia de 40 dB, lo que requiere un cuidadoso posicionamiento de los elementos de las antenas.

La ventaja de este método es la eliminación del combinador, lo que reduce considerablemente las pérdidas de potencia y simplificando el transmisor IBOC al no necesitarse una potencia elevada en esta señal.

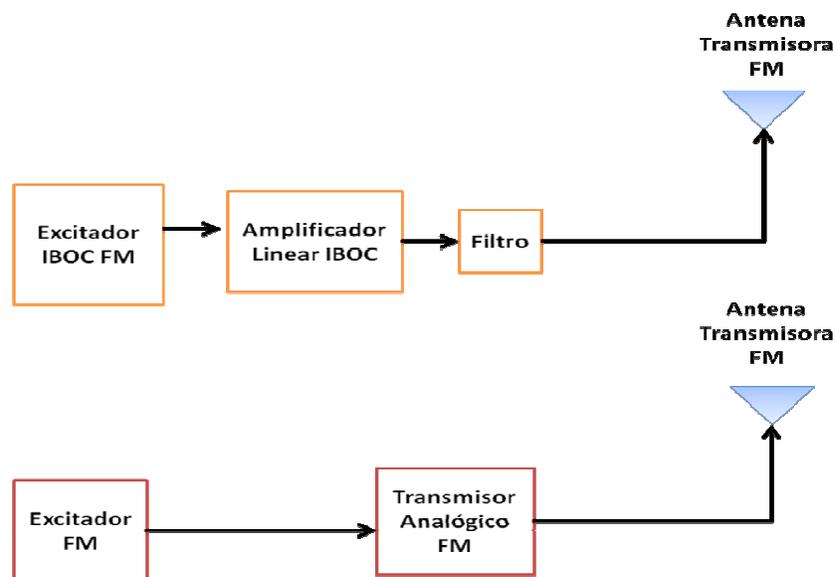


Figura 1.16 Diagrama de bloques de una amplificación usando antenas separadas¹⁶

¹⁶ CONVERSION REQUIREMENTS FOR AM & FM IBOC TRANSMISION, Jeff R. Detweiler, iBiquity Digital Corporation

CAPÍTULO 2

SITUACIÓN ACTUAL DE LA RADIODIFUSORA “LÍDER 90.1 FM” Y SU PROYECCIÓN FUTURA CON TECNOLOGÍA DIGITAL

2.1 ANTECEDENTES

La radiodifusora LÍDER 90.1 FM en la frecuencia 90.1 MHz para el sector de la provincia de Manabí, pertenece al consorcio EDIASA S.A. la que se compone además de un canal de televisión local (MANAVISIÓN) y un medio impreso (DIARIO MANABITA).

Su historia se inicia el 15 de septiembre del año 1978 y nació con el nombre de ESTEREO 90. Comenzó como una radiodifusora netamente musical, con transmisiones de música instrumental.

De esta manera se estableció como la segunda radiodifusora de la provincia.

Con el pasar de los años las transmisiones y la programación se fueron diversificando. Las transmisiones comenzaron a ser más comerciales y se empezó a transmitir noticieros deportivos entre otros.

Desde hace 12 años, la radiodifusora tomó el nombre de RADIO LIDER 90.1 después de adquirir la radiodifusora ARENA. La visión y el alcance de la radio dieron un giro de 180° al apuntar a la población joven del sector con música más popular y programas de información y farándula.

Actualmente cuenta con un personal de 6 locutores y una programación variada que se emite desde las 6 de la mañana hasta las 8 de la noche.

Indudablemente RADIO LIDER domina el sector juvenil de la provincia. Con el

advenimiento de las nuevas tecnologías se plantea el proyecto de diversificar su programación sin dejar de lado el espacio ya ganado. Es por esto que se ha propuesto una actualización de sus equipos que permita esta convergencia de objetivos en una sola marca, fortaleciendo así las instituciones involucradas y sus posibilidades de crecer hacia el futuro.

Los equipos con los que cuenta la emisora en cuestión, son meramente analógicos, a excepción del procesador de audio que es digital, lo que no brinda mayor ventaja ya que el resto de los segmentos del sistema de transmisión se encuentran expuestos a las interferencias típicas de una transmisión analógica.

2.2 SITUACIÓN TÉCNICA

En este numeral se describirán los datos técnicos de la emisora concernientes a la situación con respecto al regulador y los equipos de transmisión y procesamiento de datos utilizados.

2.2.1 Concesión de la frecuencia

La emisora RADIO LIDER 90.1 cuenta con una concesión renovada desde el 2006 y con una duración de 10 años para la frecuencia de 90.1 MHz para la región de la provincia de Manabí.

Se encuentra a nombre de ZAMBRANO IZAGUIRRE PEDRO (HEREDEROS) y como representante el señor Pedro Zambrano Lapenty.

El 13 de Agosto del año 2008 la concesión fue renovada a través de la resolución N° 5013-CONARTEL-08 actualizando la potencia de salida del transmisor a 3.7 kW, que se hallaba antes en un valor de 5 kW.

Actualmente la concesión se encuentra habilitada hasta el año 2016.

Los datos técnicos del tipo de concesión se enumeran a continuación:

SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Ubicación: Cerro de hojas

Coordenadas: 80° 33' 14" w 01° 05' 08" s

Frecuencia: 90.1 MHz

Tipo de emisión: 180KF8EHN

Potencia de salida: 3.7 kW

Antena: Arreglo de 4 dipolos

Ganancia: 7.5 dB

Polarización: Vertical

SISTEMA DE RADIO ENLACE ESTACIÓN-CABINA DE TRANSMISIÓN

Frecuencia: 227.7 MHz

Tipo de emisión: 200KF8EHN

Potencia de salida: 10 w

2.2.2 Equipos utilizados en la cabina de programación

Los equipos utilizados en la cabina pueden ser divididos en 2 partes principales las cuales son:

- Procesamiento de datos fuera del aire
- Procesamiento de datos al aire

2.2.2.1 Sistema de Procesamiento de datos fuera del aire

La función principal de estos equipos es la de procesar todo el audio que corresponde a cuñas comerciales pregrabadas e información de la radio como jingles e introducción a programas definidos en la estación.

En Radio Líder 90.1 FM, este proceso se realiza dentro de una habitación aislada de sonidos externos para lograr una mejor calidad en las grabaciones realizadas.

Consta de 2 equipos específicos, los cuales son una computadora en la cual se procesa el audio grabado a través de Cool Edit Pro, software diseñado para este tipo de procesos que permite cortar y pegar pistas además de añadir efectos y

corregir posibles errores en la señal de audio.

El otro equipo utilizado es una consola que permite mejorar la calidad de la grabación realizada. Se trata del EURO POWER PMX1000 de marca Behringer. En la figura 2.1 vemos una imagen de la consola que se encuentra actualmente funcionando en las instalaciones de la estación.



**Figura 2.1 Consola mezcladora EURO POWER
PMX1000 de Behringer¹⁷**

Posee 12 canales (4 mono + 4 estéreo) de los cuales se permiten 6 entradas de micrófono, además de un amplificador de audio de 400 W.

En las tablas 2.1 y 2.2 podemos ver una lista de las principales características del equipo en cuestión.

¹⁷ Imagen generada por el autor. En adelante a las imágenes generadas por el autor de este Proyecto de Titulación no se les indicara la fuente.

PMX1000	
MICROPHONE INPUTS	
Type	XLR, electronically balanced, discrete input circuit
Mic E.I.N. (20 Hz - 20 kHz)	
@ 0 Ω source resistance	-134 dB / 136 dB A-weighted
@ 50 Ω source resistance	-131.5 dB / 134 dB A-weighted
@ 150 Ω source resistance	-129 dB / 131 dB A-weighted
Frequency response	< 10 Hz - 155 kHz (-1 dB) < 10 Hz - > 200 kHz (-3 dB)
Gain	+10 dB, +60 dB
Max. input level	+12 dBu @ +10 dB gain
Impedance	approx. 2.6 k Ω balanced / 1.3 k Ω unbalanced
Signal-to-noise ratio	109 dB / 112 dB A-weighted (0 dBu IN @ +10 dB gain)
Distortion (THD+N)	0.002% / 0.0018% A-weighted
MONO LINE INPUTS	
Type	1/4" TS connectors, balanced
Impedance	approx. 20 k Ω
Max. input level	+21 dBu
STEREO LINE INPUTS	
Type	1/4" TRS connectors, unbalanced
Impedance	> 3.6 k Ω
Max. input level	+22 dBu
EQUALIZER	
Low	80 Hz / \pm 15 dB
Mid	2.5 kHz / \pm 15 dB
High	12 kHz / \pm 15 dB
CD/TAPE INPUT	
Type	RCA
Impedance	approx. 3.6 k Ω , balanced
Max. input level	+21 dBu
PRE AMP OUTPUTS	
MAIN	
Type	1/4" TRS connectors, unbalanced
Impedance	approx. 150 k Ω , unbalanced
Max. input level	+21 dBu
MONITOR	
Type	1/4" TRS connectors, unbalanced
Impedance	approx. 150 k Ω , unbalanced
Max. input level	+21 dBu

**Tabla 2.1 Características técnicas de la consola mezcladora EURO POWER
PMX1000 de Behringer¹⁸**

¹⁸ www.behringer.com

STEREO OUTPUTS	
Type	RCA
Impedance	approx. 1 k Ω
Max. input level	+21 dBu
MAIN MIX SYSTEM DATA	
Noise	
MAIN MIX @ - ∞	-102 dB/-106 dB A-weighted
Channel fader - ∞	
MAIN MIX @ 0 dB	-88 dB/-91 dB A-weighted
Channel fader - ∞	
MAIN MIX @ 0 dB	-84 dB/-86 dB A-weighted
Channel fader @ 0 dB	
LOUDSPEAKER OUTPUTS	
Type	NEUTRIK NL4MP SPEAKON [®]
Load impedance	
MAIN L/R	4 - 8 Ω
MONITOR/MAIN MONO	4 - 8 Ω
MAIN MONO/MAIN MONO	4 - 8 Ω
BRIDGE	8 - 16 Ω
DSP	
Converter	24-Bit Delta-Sigma, 64/128-times oversampling
Dynamics D/A	90 dB
Sampling rate	46.875 kHz
Delay Time	max. 5 s
Signal run time (Line In \rightarrow Line Out)	approx. 1.5 ms
DISPLAY	
Type	Dual 7-segment LED
AMPLIFIER	
Power amp output	
Power @ 4 Ω	2 x 300 W
Power @ 8 Ω	2 x 150 W
Power @ 8 Ω (BRIDGE)	1 x 600 W
POWER SUPPLY	
Mains voltage	85 - 250 V~, 50 / 60 Hz
Power consumption	500 W
Fuse	220 - 240 V~: T 3.15 A H 250V
	100 - 120 V~: T 5 A H 250V
Mains connector	Standard IEC receptacle
PHYSICAL/WEIGHT	
Dimensions (H x W x D)	4 7/8" x 15 3/8" x 16 3/4"
	122 x 390 x 425 mm

Tabla 2.2 Características técnicas de la consola mezcladora EURO POWER PMX1000 de Behringer¹⁹

2.2.2.2 Sistema de Procesamiento de datos al aire

Este sistema es el encargado de unir, procesar y organizar el audio de la programación producida en vivo. Esta constituido principalmente por la consola principal, el software utilizado para organizar la programación y un sistema de procesamiento de la señal para su transmisión al oyente.

La consola principal es un equipo antiguo sin marca, lo cual desmejora la señal resultante. En la figura 2.2 vemos una imagen de la consola principal que se

¹⁹ www.behringer.com

encuentra actualmente funcionando en la estación.



Figura 2.2 Consola utilizada para la transmisión en vivo en Radio Líder 90.1 FM

Posee 8 canales los cuales están organizados de la siguiente manera:

- El canal 1 se usa para un micrófono auxiliar en caso de un interlocutor dentro del programa.
- El canal 2 se usa para la computadora que contiene el software de programación.
- El canal 3 se usa para el micrófono principal
- Los canales 4 al 8 no son utilizados.

Además tiene visualizadores analógicos que indican la potencia de salida de los canales activos.

El software utilizado para organizar la programación corre desde una computadora central localizada en el estudio. Este software es el Radio 5 versión 8.5. Este es un sistema de automatización y control de emisoras de radio desarrollado en 32 bits, soportando múltiples tipos de compresiones de audio sobre Windows, simultáneamente.

Entre sus principales características tenemos las siguientes:

- Múltiples ventanas de emisión
- Gráficos de densidad de comerciales discriminados por rubros²⁰ en cada hora
- “Drag & Drop” entre todas sus ventanas
- Contestador telefónico
- Control de equipos RDS
- Generador Streaming en Línea

Para el uso de este sistema, la estación tiene que pagar una licencia anual. En la figura 2.3 podemos ver una captura de la interfaz de Radio5.

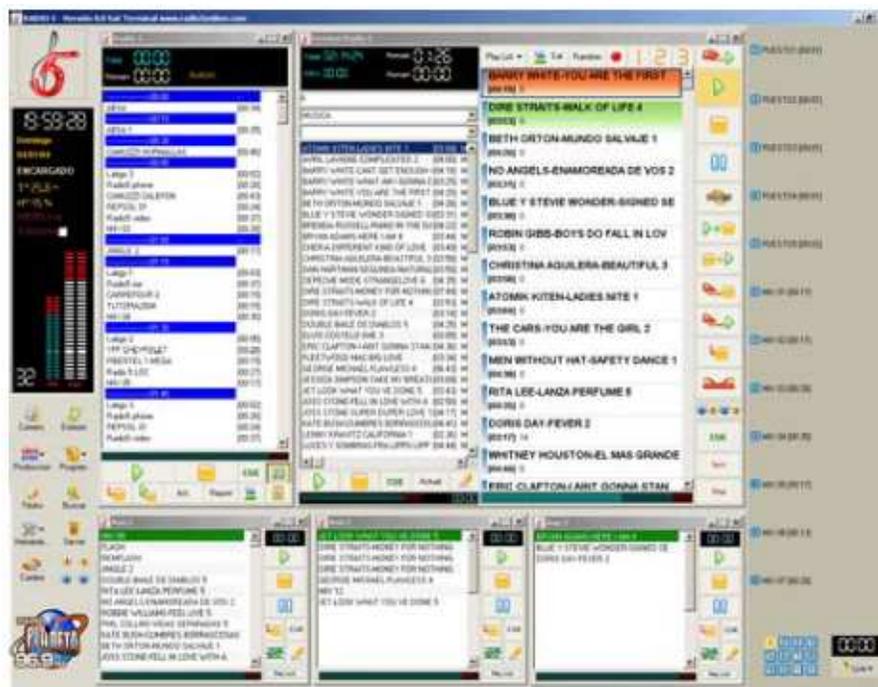


Figura 2.3 Interfaz de Radio5²¹

Finalmente el sistema utilizado para procesar el sonido de manera digital es el OPTIMOD-FM 8200 de Orban que es un equipo especializado en el tratamiento de la señal de audio para emisoras FM, facilitando el control del ancho de banda

²⁰ Numero de cuentas comerciales o marcas

²¹ www.radio5.com

de la señal a transmitir.

El procesador de audio está diseñado para cumplir con todas las normas de seguridad internacionales posibles. El muestreo trabaja a 32 kHz. Todas las conexiones de entrada, salida y alimentación están rigurosamente protegidas frente a las interferencias de RF.

Tiene capacidad de grabar 32 pre ajustes de sonido, pudiendo escoger uno de estos en cualquier momento.

En la figura 2.4 vemos el equipo mencionado que es utilizado actualmente en la estación.



Figura 2.4 OPTIMOD-FM 8200 que funciona actualmente en la estación

2.2.3 Equipos utilizados para el enlace entre la estación y la cabina de transmisión

Los equipos utilizados para esta labor son dos, el *Radio Link Transmitter* modelo PTRL – LCD de la marca R.V.R., trabaja como transmisor a una potencia de 5 W y a una frecuencia de 227.7 MHz. El receptor en este caso es el Radio Link Receiver modelo RXRL – LCD de la misma marca R.V.R. el cual trabaja a la

misma frecuencia del transmisor. Tanto el PTRL-LCD con el RXRL-LCD son un radio transmisor y un radio receptor de banda ancha. Este tipo de equipo se denomina comúnmente STL (*Studio-to-Transmitter Link*). De manera estándar, los equipos trabajan sobre las siguientes bandas de frecuencias:

- 220 MHz - 240 MHz (en pasos de 5 kHz)
- 420 MHz - 440 MHz (en pasos de 5 kHz)
- 900 MHz - 960 MHz (en pasos de 5 kHz)

Además tiene una entrada adicional para datos tipo RDS previamente procesados, así como una salida adicional en el receptor. En la tabla 2.3 podemos ver una lista de las características eléctricas del transmisor, y en la tabla 2.4 una lista de las características eléctricas del receptor.

General	
RF output power	0-10 W continuously selectable
RF output connector	Type "N"
RF output impedance	50 Ohm
Frequency band	220 + 240 MHz 420 + 440 MHz 900 + 960 MHz (Other frequency bands are available upon request, please contact RVR to know the availability of modules for the required frequency)
Programming of the frequency	Direct through software
Frequency stability	±1ppm from -10°C to 50°C
Type of modulation	Direct modulation of the carrier
Suppression of the spuries and harmonics	Respect or exceed the FCC & CCIR (typical -75 dB)
Ability of modulation	Respect or exceed the FCC & CCIR (typical 240kHz MPX or Mono, 210 KHz Stereo)
Asynchronous modulation AM residual	-70 dB or inferior against 100% AM, without deemphasis
Synchronous modulation AM residual	≅ -50 dB or inferior against 100% AM, FM modulation 75 kHz at 400Hz, without deemphasis
Transitory intermodulation distorsion	< 0.1% (typical 0.05%) measured with square wave at 3.18 kHz and sinusoidal at 15 kHz with a 75 kHz FM
A.C. supply	≅ 80 V + 260 V, full-range
C.C. supply	24 V
Consumption	120 VA ca.

Tabla 2.3 Características eléctricas del Radio Link Transmitter modelo PTRL-LCD²²

²² PTRL & RXRL LCD USER MANUAL, Revisión 1.2

General

RF output connector	Type "N"
RF output impedance	50 Ohm
Frequency band	220 + 240 MHz 420 + 440 MHz 900 + 960 MHz (Other frequency bands are available upon request, please contact RVR to know the availability of modules for the required frequency)
RF input impedance	50 Ohm
Frequency programming	Direct through software
Frequency stability	± 1 ppm from -10°C to 50°C
Maximum RF input signal	+23 dBm
Intermediary Frequencies	10,7 MHz, 700 KHz
A.C. supply	$\cong 85\text{ V} + 264\text{ V}$, full-range
C.C. supply	24 V

Tabla 2.4 Características eléctricas del Radio Link Receiver modelo RXRL-LCD²³

En la figura 2.5 vemos una foto del equipo transmisor que funciona actualmente en la estación. En la figura 2.6 vemos una foto del equipo receptor que funciona en la cabina de transmisión.



Figura 2.5 Radio Link Transmitter modelo PTRL-LCD que funciona en la estación

²³ PTRL & RXRL LCD USER MANUAL, Revisión 1.2



Figura 2.6 Radio Link Receiver modelo RXRL-LCD que funciona en la cabina de transmisión

2.2.4 Equipos utilizados en la cabina de transmisión

Los equipos utilizados en la cabina de transmisión son los encargados de preparar la señal para ser transmitida a través de la antena hacia los receptores de los radioescuchas.

El primer equipo que se utiliza es el receptor del STL, el cual ya se ha descrito anteriormente. Luego se usa un excitador FM modelo PTX30-LCD de R.V.R. de 30 W. El excitador cumple la función de modular la señal en la frecuencia de transmisión deseada. Este excitador trabaja en la banda de los 87.5 MHz a los 108 MHz y puede ser calibrado en pasos de 10 kHz. Puede trabajar con una alimentación de 110 VAC o 220 VAC.

En la tabla 2.5 podemos ver las características eléctricas del equipo en cuestión, y en la figura 2.7 una foto del equipo que funciona actualmente en la cabina de transmisión.

General

RF output power	PTX30LCD:	0-30 W, adjustment with continuity
	PTX60LCD:	0-60 W, adjustment with continuity
	PTX100LCD:	0-100 W, adjustment with continuity
RF output connector		type "N"
RF output impedance		50 Ohm
Frequency band		87.5 MHz ÷ 108 MHz
Frequency programming		direct via software
Frequency stability		±1ppm from -10 °C to 50 °C
Type of modulation		direct carrier modulation
Spurious and harmonic suppression		meets or exceeds FCC and CCIR standards (typically, 85 dB)
Modulation capacity		meets or exceeds FCC and CCIR standards (typically, 240kHz for MPX or Mono, 210 KHz for Stereo)
Residual asynchronous AM modulation		-70 dB or less with respect to 100% AM, without deemphasis
Residual synchronous AM modulation		-60 dB or less with respect to 100% AM, 75KHz FM modulation at 400Hz, without deemphasis
Transient intermodulation distortion		< 0.1% (typically, 0.05%) measured with square waveform at 3.18 kHz and sinusoidal waveform at 15 kHz with 75 kHz FM
Power supply		115÷125 V, 50÷60 Hz 230÷250 V, 50÷60 Hz
Absorption	PTX30LCD	approx. 120 VA
	PTX60LCD	approx. 200 VA
	PTX100LCD	approx. 300 VA

Tabla 2.5 Características eléctricas del Excitador FM PTX-LCD de R.V.R.²⁴



Figura 2.7 Excitador FM PTX-LCD de R.V.R. que funciona en la cabina de transmisión

²⁴ PTRL & RXRL LCD USER MANUAL, Revisión 1.2

Luego del excitador sigue un amplificador de potencia, en el caso de esta estación es un PJ500M-C/LCD de la empresa R.V.R. Permite transmisiones de hasta 500 Watts regulables y permite una entrada de hasta 10 W. Las frecuencias en las que trabaja son las mismas que las del excitador. En la tabla 2.6 podemos ver las características eléctricas del equipo mencionado.

Electrical Specifications

A.C. Power Supply	100-130 V, 50-60 Hz 198-250 V, 50-60 Hz
Cooling system	forced ventilation
Frequency Range	87.5 MHz + 108 MHz
Output Power	500 W nominal
Drive Power	< 10 W for Pout = 500 W, typical 6 W
Input Connector	Standard Connector Type "N"
Input Impedance	50 Ohm
Output connector	Standard Connector Type "N"
Output Impedance	50 Ohm
Harmonic and Spurious Soppression	Respect all requirments FCC e CCIR

Tabla 2.6 Características eléctricas del amplificador de potencia PJ500M-C/LCD de R.V.R.²⁵

En la figura 2.8 vemos una foto del equipo que funciona actualmente en la cabina de transmisión.



Figura 2.8 Amplificador de Potencia de RF PJ500M-C/LCD de R.V.R. que funciona en la cabina de transmisión

²⁵ PJ500M-C/LCD USER MANUAL

Este equipo es utilizado solamente para aumentar la entrada del amplificador clase C que es utilizado para la transmisión final. Este amplificador es el 695T5KW de la marca QEI el cual trabaja a 5 kW máximo. La información general de este equipo no fue encontrada por su antigüedad. En la figura 2.9 podemos ver una foto del equipo actualmente usado en la cabina de transmisión.



Figura 2.9 Amplificador de Potencia de RF 695T5KW de QEI que funciona en la cabina de transmisión

2.2.5 Antenas utilizadas en el sistema de transmisión

Las antenas utilizadas en el proceso de transmisión de la señal son 3. Dos utilizadas para el enlace entre el estudio, una para la salida de la señal y la otra para la recepción de dicha señal en la cabina de transmisión, y la tercera es la utilizada para la transmisión de la señal FM.

Estas tres antenas fueron fabricadas por la empresa y consisten en arreglos de 4 dipolos específicos para la frecuencia de la señal a transmitir. Es decir, 227.7 MHz para el enlace entre estudio y cabina de transmisión, y 90.1 MHz para la transmisión de la señal FM.

En las figuras 2.10 y 2.11 podemos ver fotos de las antenas utilizadas en el STL.

En la figura 2.12 vemos una foto de la antena utilizada para la transmisión de la señal FM.



Figura 2.10 Arreglo de 4 dipolos utilizado para el enlace entre el estudio y la cabina de transmisión (Transmisor)



Figura 2.11 Arreglo de 4 dipolos utilizado para el enlace entre el estudio y la cabina de transmisión (Receptor)



Figura 2.12 Arreglo de 4 dipolos utilizado la transmisión de la señal FM

2.3 SISTEMA DE TRANSMISIÓN FINAL

Todos los equipos descritos en los subcapítulos anteriores cumplen cabalmente con su función de manera conjunta. Los equipos tienen un tiempo de uso promedio de 6 años y trabajan por debajo de su capacidad total lo que garantiza un funcionamiento correcto por algunos años más.

A continuación se presentará la estructura del sistema de transmisión utilizado en esta estación. En la figura 2.13 podemos ver la estructura de los equipos utilizados en el estudio de Radio Líder 90.1 FM.

La fuente de información principal de la estación es la música que programan y las cuñas publicitarias. Esta información es generada, preparada y corregida a través de la consola PMX1000. Esta información es almacenada en la computadora principal de la estación, en la cual se corre el programa que permite organizar de manera óptima la programación. Nos referimos al programa Radio5. Este permite estructurar la programación de manera que se respeten las pautas

publicitarias contratadas, y además le facilita el trabajo al locutor presentándole cuadros con los tiempos utilizados en cada canción y pauta.

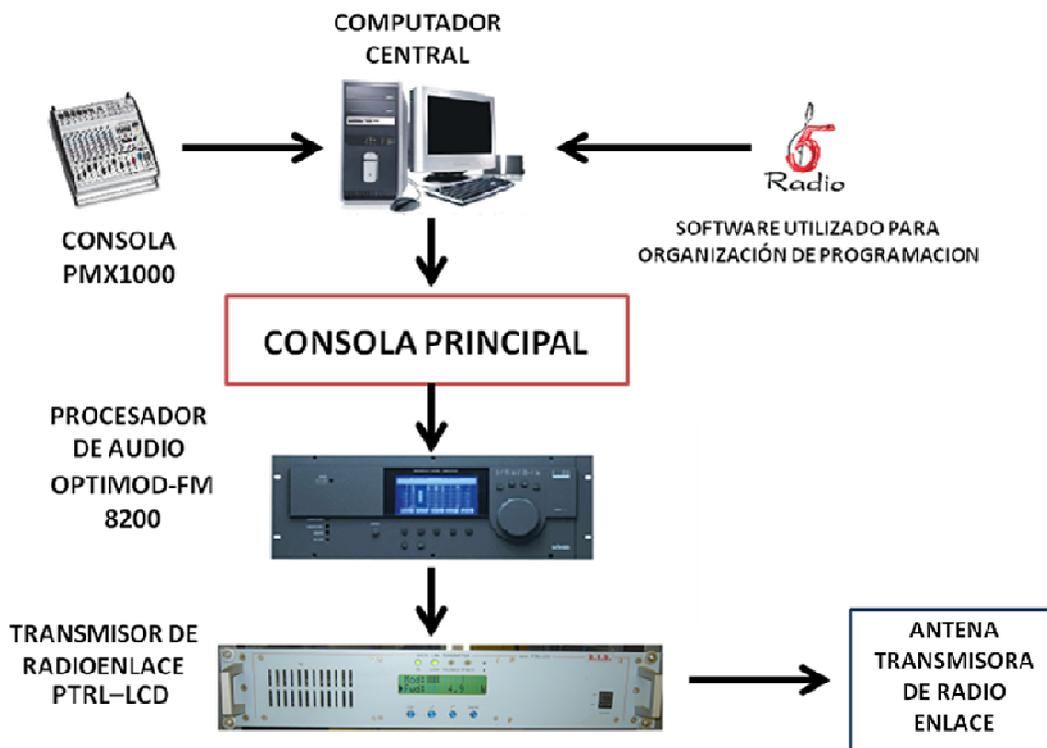


Figura 2.13 Estructura general de sistema de transmisión en el estudio de Radio Líder 90.1 FM

Toda esta información sale del computador a través de su tarjeta de sonido hacia la consola principal, que como se acotó anteriormente no tiene marca ni modelo. Esta información ocupa el canal número 2 de la consola principal. La salida de los canales es controlada por el locutor. Esta consola posee salidas izquierda y derecha de audio las cuales llegan al OPTIMOD 8200.

Este equipo se encarga de “suavizar” la señal de manera que esta sea libre de ruido no deseado y ecualizada de manera correcta. Este dispositivo posee configuraciones de fábrica optimizadas para el tipo de programación o música que se vaya a transmitir. Actualmente el sistema trabaja con una configuración única, pero el equipo permite programar configuraciones dependiendo del horario.

La salida de este equipo consiste en un cable coaxial el cual va hacia el equipo de transmisión de la señal hacia la cabina de transmisión de la señal modulada. El equipo utilizado para este propósito es el *Radio Link Transmitter* modelo PTRL-LCD trabajando a 5 W de salida.

De este equipo sale la información hacia la cabina de transmisión. Esta información llega a la antena receptora localizada en el Cerro de Hojas, elevación que tiene línea de vista con las dos principales ciudades de la provincia de Manabí, Portoviejo y Manta, y también permite un fácil acceso al resto de la provincia.

A continuación se describirá la estructura del funcionamiento de los equipos utilizados en la cabina de transmisión (Ver Figura 2.14).

La información recibida por la antena, es procesada por el equipo receptor del STL, el RXRL-LCD de R.V.R.

Esta información saldrá de este equipo en banda base, la cual se enviará al excitador PTX-LCD, el cual se encargará de realizar el proceso para conseguir la frecuencia requerida para la transmisión. En nuestro caso esta frecuencia es 90.1 MHz. Además realiza una amplificación de potencia para preparar entregar señal a los niveles requeridos por el amplificador de potencia.

Este amplificador de potencia utilizado es un amplificador clase A modelo PJ500M-C/LCD, el cual entrega la potencia de la señal en los niveles requeridos por el amplificador principal. Este amplificador trabaja a una potencia máxima de 500 W. Es utilizado para entregar una potencia de 30 W para la entrada del último amplificador. Este amplificador final es un amplificador clase C que tiene una potencia máxima de 5 kW. Por las limitaciones de la concesión este transmisor trabaja a la potencia de 2.5 kW. Esta señal se conecta a la antena transmisora para la radiación al espacio.

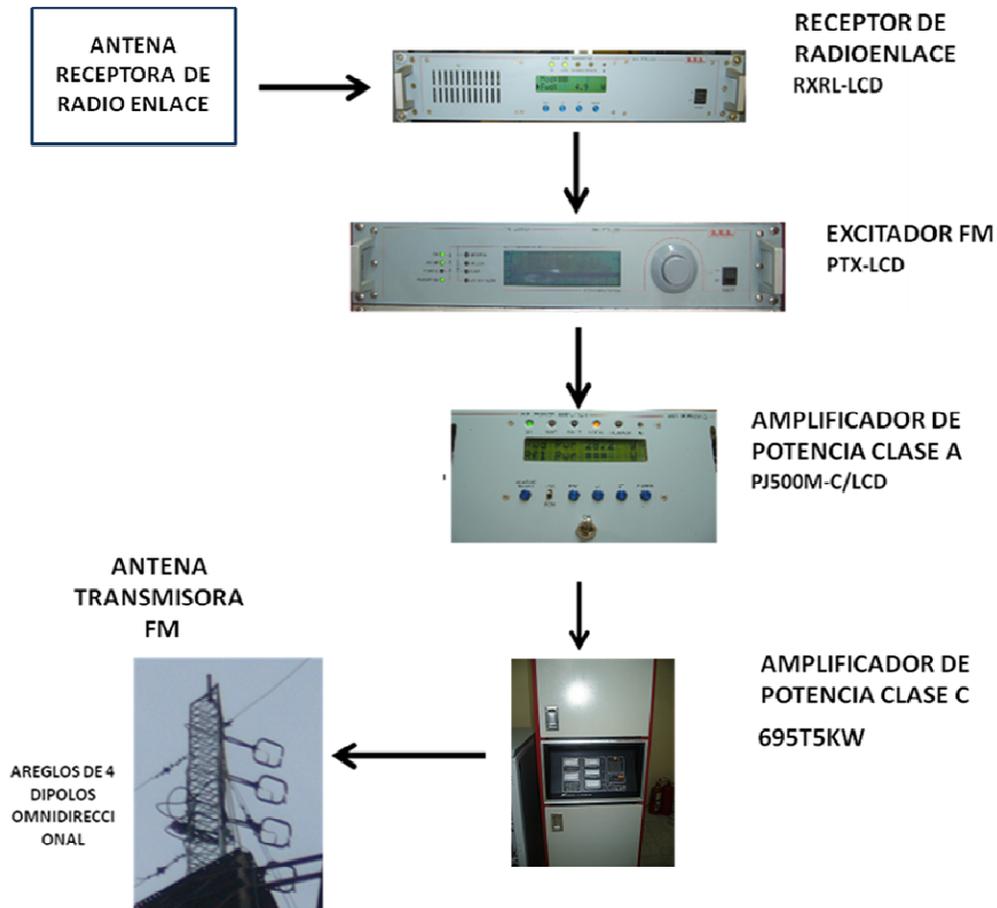


Figura 2.14 Estructura general de sistema de transmisión en la cabina de transmisión de Radio Líder 90.1 FM

2.4 ALCANCE GEOGRÁFICO DE LA ESTACIÓN

El alcance de la estación compromete la zona centro-sur de la provincia de Manabí. A través del software libre RADIOMOBILE, se realizó una aproximación del alcance real de RADIO LIDER 90.1. En la Figura 2.15 se muestra una imagen con dicho alcance.

La zona roja representa la zona principal de cobertura, la zona amarilla y verde representa la zona de cobertura secundaria. Las zonas de tonos azules representan los sectores donde la cobertura es más que deficiente, esto debido a los accidentes geográficos así como la potencia de radiación.

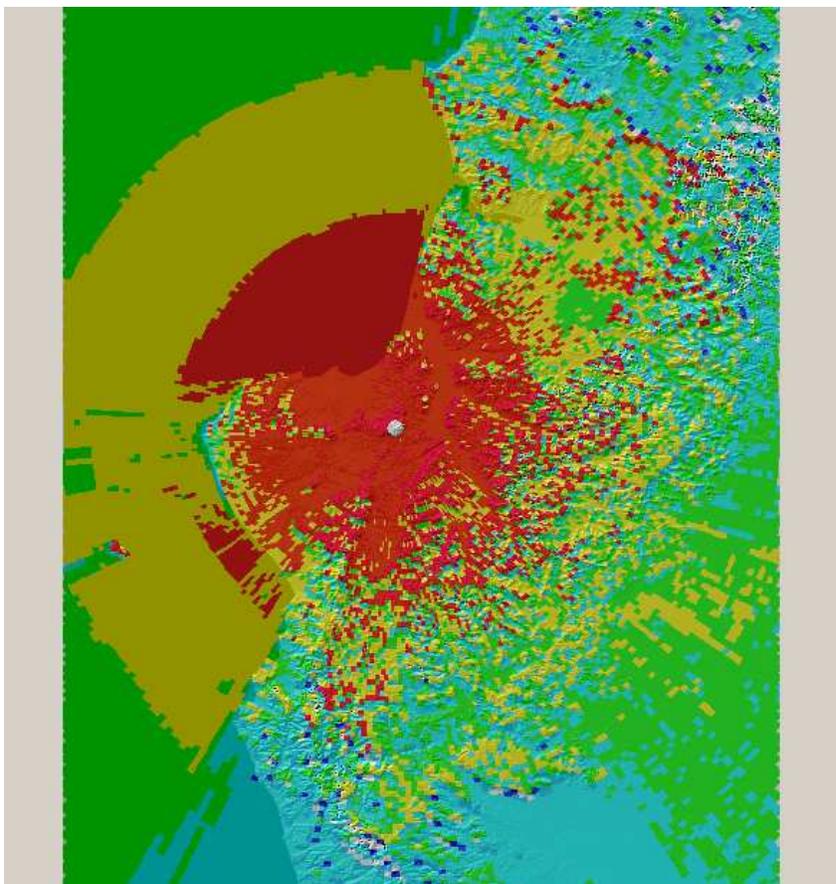


Figura 2.15 Alcance aproximado de la emisora Radio Líder 90.1 FM

2.5 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMISORA

Radio Líder 90.1 FM se coloca como la primera estación dentro de la audiencia juvenil, primeramente por su programación actual, y segundo por pertenecer a la primera empresa de medios de la provincia lo que le da mayor alcance ya que la radio puede ser fácilmente publicitada a través de los otros medios (Televisión y prensa escrita).

Actualmente se encuentra en un proceso de cambio, el cual consiste en darle un giro de 180° a su visión y los oyentes a los que desea llegar. Desde el 5 de Enero del año 2009 dejó de ser Radio Líder 90.1 FM para convertirse en Radio Amiga, la cual está dirigida principalmente al público femenino de todas las edades. Este cambio se produjo por el hecho de llevar ya más de 10 años con la misma

imagen. Aun así, el público ganado a través de todo este tiempo no se quiere perder, y la tecnología digital propuesta permitiría en unos años, poder transmitir estas dos alternativas a través del mismo canal concesionado. Además dentro de la propuesta de digitalización está el habilitar los canales de datos para enviar avisos de interés a la sociedad a través de él.

Los equipos utilizados actualmente funcionan correctamente y no presentan ningún problema, aunque ya está presupuestado que para el año 2010, se cambiará el equipo encargado de optimizar la señal de audio a transmitir y el amplificador principal. Esta sería una buena oportunidad de incorporar un equipo que cumpla con las especificaciones ideales para la transición digital.

En el supuesto de que el sistema IBOC no sea escogido, este solo abarca la parte de transmisión y tratamiento de la señal. Es decir que la etapa de acondicionamiento de la señal, entiéndase consolas y ecualizadores, así como los equipos referidos al STL, pueden ser actualizados antes que se defina el proceso y modelo de transición.

Por el momento la estación no tiene planes de expansión en su cobertura ni en la potencia de transmisión usada, por lo que los equipos propuestos deberán mantener los mismos niveles de potencia disponible.

CAPÍTULO 3

TIPOS DE CONFIGURACIONES DE TRANSMISIÓN DEL STANDARD IBOC

3.1 INTRODUCCIÓN

Con el advenimiento de la tecnología digital en lo que respecta a radiodifusión explícitamente, se abren nuevas oportunidades comerciales para las emisoras desde diferentes puntos de vista.

En una primera fase el simple hecho de ser poseedores de la nueva tecnología los haría más atractivos para sus clientes comerciales ya que es reconocido que los medios de comunicación con tecnología de punta llegan más fácilmente al cliente.

En el momento que la tecnología digital llegue a los receptores, el servicio más importante que podría ofrecer la radiodifusora sería la venta de transmisión de datos, ya sea como publicidad o avisos de importancia para la comunidad.

Finalmente y como máxima expresión de las facilidades comerciales que puede brindar este nuevo sistema, está el hecho que el ancho de banda se podrá reutilizar hasta para 4 estaciones, lo que virtualmente cuadruplicaría su eficiencia a la hora de llegar a los oyentes por lo que los nichos se expanden y se puede llegar al mismo tiempo a 4 sectores del público totalmente opuestos del sector. Por ejemplo, una estación especializada en noticias, con el sistema digital propuesto, podrá transmitir sobre uno de los nuevos canales programación meramente musical sin interrupciones. Además, esta facilidad también permitiría asociaciones de radiodifusoras bajo una misma marca, que usarían la misma frecuencia y equipos de transmisión, lo que ahorraría a las cuatro empresas estos rubros en su nómina de egresos.

El hecho de transmisión de datos no es nada nuevo en la historia de la evolución de la radiodifusión FM²⁶. Ya desde los años 50 se utilizan los canales de comunicación ACS (Autoridad de Comunicaciones Subsidiarias). Estos canales son subportadoras sobre-audio FM de la frecuencia modulados sobre el portador principal de FM. Estas subportadoras llevan la información en forma de datos modulados en FM.

Entre los tipos de información que se puede brindar se pueden citar los siguientes:

- Datos asociados al programa PAD
- Información sobre el estado del clima
- Programación por demanda
- Audio suplementario
- Guía de programación

Existen servicios más avanzados que se pueden brindar aprovechando este canal de datos como lo son:

- Personalización de usuario: Dependiendo de los gustos específicos del usuario, este puede suscribirse a este tipo de servicio donde recibirá programación personalizada.
- Almacenamiento de programación: El usuario puede utilizar este servicio para guardar la información que el prefiera dentro de su dispositivo. De esta forma podrá escucharlo el momento que el desee. Por ejemplo se puede crear un sistema de suscripción.

Todos estos cambios dentro de la radiodifusión clásica dependerán mucho del tipo de receptores que sean introducidos en el mercado, su precio y su funcionalidad para adaptarse a las nuevas tendencias de consumo.

²⁶ *Sistema De Transmisión De Datos De Advertencia Por Banda SCA -Universidad Militar Nueva Granada*

En este capítulo analizaremos la estructura de la transmisión en FM IBOC y cómo facilitará la prestación de estos nuevos servicios.

3.2 SERVICIOS EN FM IBOC [9][11]

Ya que la transmisión digital supone una mejora en la calidad y los servicios brindados, en este estándar se dispone de una variedad de protocolos y servicios que permiten estas mejoras.

A continuación vamos a describir los tipos de servicios que se pueden brindar y sus diferentes variaciones dependiendo de lo que se quiera hacer.

3.2.1 Servicio de Programa Principal

Corresponde al programa de audio propiamente dicho. Sus siglas en inglés son MPS (*Main Program Service*) y se constituye del programa principal de audio y cualquier cadena de texto como el nombre del artista, título de canción.

3.2.2 Servicio de Programa Secundario

Consiste en canales extras para transmisión de audio. Este servicio es el que permite que las radiodifusoras transmitan varias programaciones distintas a la vez. La combinación del servicio de programación primario, con el servicio de programación secundario, puede dar varias configuraciones que determinan la tasa de transmisión y el número de programas que se pueden transmitir simultáneamente.

En la Tabla 3.1 podemos ver un listado de alguno de estos Modos de servicio dependiendo de los números de programas que se quieran transmitir. En esta tabla se enumera las más importantes configuraciones de los modos de servicio, cuales utiliza cada uno de estos, el número de programas o canales de transmisión permitidos y los modos de servicio utilizados en dicha configuración con su respectiva división de la tasa de transmisión permitida para dicha

configuración. Por ejemplo en el número de configuración 3, vemos que se utiliza el modo de servicio MP1 con una tasa de transmisión total de 96 kbps permitiendo 3 canales de programación. En detalle podemos ver que esta configuración permite 3 canales de programación, uno principal o MPS Audio 1 con 64 kbps de tasa de transmisión, uno secundario con 16 kbps de tasa de transmisión y otro secundario con 16 kbps de transmisión, estos tres canales de transmisión a través del subcanal P1.

Número de Configuración	Modo de Servicio	Tasa de Transmisión (kbps)	Número de Programas	MPS Audio 1		SPS Audio 2		SPS Audio 3	
				Max Audio (kbps)	Canal Número	Max Audio (kbps)	Canal Número	Max Audio (kbps)	Canal Número
1	MP1	96	1	96	P1	-	-	-	-
2	MP1	96	2	64	P1	32	P1	-	-
3	MP1	96	3	64	P1	16	P1	16	P1
4	MP2	108	2	96	P1	12	P3	-	-
5	MP2	108	3	64	P1	32	P1	12	P3
6	MP3	120	2	96	P1	24	P3	-	-
7	MP3	120	3	64	P1	32	P1	24	P3
19	MP5	108	1	96	P1 Y P2	-	-	-	-
20	MP5	108	2	64	P1 Y P2	32	P2	-	-
21	MP5	108	3	64	P1 Y P2	32	P2	12	P3
25	MP6	96	1	96	P1 Y P2	-	-	-	-
26	MP6	96	2	64	P1 Y P2	32	P2	-	-

TABLA 3.1 Normas para la Configuración de MPS y SPS por Modo²⁷

²⁷ IBOC FM TRANSMISSION SPECIFICATION, iBiquity Digital Corporation, 2001. Las imágenes y tablas de este capítulo corresponden a la misma fuente

3.2.3 Servicio de datos personales

Este servicio permite a los oyentes seleccionar servicios de envío de datos a sus receptores por demanda, es decir información predefinida por el usuario.

3.2.4 Servicio de Identificación de la Estación

Este servicio provee el control e información de identificación requerida para dejar al oyente buscar y seleccionar las estaciones que cuentan con transmisión digital IBOC y el tipo de servicios que brinda cada una de estas.

3.2.5 Servicio de aplicación auxiliar

Este servicio permitirá en un futuro, añadir nuevas características a las transmisiones digitales así como aplicaciones especializadas.

3.3 PROTOCOLO EN IBOC [17][20]

Como en cualquier sistema de telecomunicaciones, estos servicios deben estar soportados por un protocolo que administre la transmisión de datos.

El protocolo o modelo de capas se encuentra organizado por los términos de la Organización Internacional de Estándares de interconexión de sistemas abiertos (ISO OSI). En la Tabla 3.2 se presenta una lista de las capas del modelo y como se las utiliza en el estándar IBOC.

Cada capa OSI en el terminal transmisor tiene una capa idéntica en el receptor.

En nuestro caso de estudio analizaremos la capa física que describe cómo se logra transformar los datos en la señal que se transmite hacia los receptores.

3.4 CAPA FÍSICA

La capa 1 del sistema FM convierte la información, tanto datos como control, de la capa 2 en la señal para la transmisión en la banda utilizada en FM. La información es transportada por medio de tramas a través de canales lógicos por los puntos de acceso de la capa 1. Estas tramas dependen de los datos que llegan de la capa 2 (SDU: *Service Data Units* y SCU: *System Control Units*) que dependen también del tipo de servicio que transportan.

NÚMERO DE CAPA	NOMBRE DE CAPA	UTILIDAD
CAPA 1	CAPA FÍSICA	* MODULACIÓN * DEMODULACIÓN * INTERLEAVING * SCRAMBLING
CAPA 2	CAPA DE ENLACE	* RUTEO DE CAPA 1 * CHEQUEO DE TRAMA
CAPA 3	CAPA DE RED	* NO SE USA EN IBOC
CAPA 4	CAPA DE TRANSPORTE	* ENVÍO DE DATOS EN EL FORMATO REQUERIDO POR APLICACIONES ESPECÍFICAS * AUDIO DIGITAL * TEXTO Y DATOS DE CONTROL
CAPA 5	CAPA DE SESIÓN	* NO SE USA EN IBOC
CAPA 6	CAPA DE PRESENTACIÓN	* CODIFICACIÓN * DECODIFICACIÓN
CAPA 7	CAPA DE APLICACIÓN	* PROVEE LOS PRINCIPIOS PARA EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN DEL USUARIO A TRAVÉS DE LAS INTERFACES * PROCESAMIENTO DE AUDIO * PROCESAMIENTO DEL TEXTO PARA EL DISPLAY DEL OYENTE * PRESENTACIÓN DE VIDEO PARA EL DISPLAY DEL OYENTE * APLICACIONES ESPECIALES: JAVA, ETC

TABLA 3.2 Descripción de la utilidad de cada una de las capas del modelo en el estándar IBOC

El modo de control, un componente mayoritario de los datos de control, determina las características de la transmisión de cada canal lógico.

La variedad de estos canales refleja la flexibilidad del sistema, soportando el envío de varias clases de datos y audio digital.

La Capa 1 también recibe las tramas de control del sistema como SCU's desde la Capa 2.

3.4.1 Canal de Control del sistema

Este canal es el encargado del transporte de la información de control y estado del sistema. Los modos de servicios primarios y secundarios y el control del retardo de diversidad son enviados desde la capa 2 a la capa 1, mientras que la información de sincronismo es enviada de la capa 1 a la capa 2.

Los modos de servicio determinan todas las posibles configuraciones de los canales lógicos. Existe un total de 11 modos de servicio.

Los modos de servicio principales son 7 y se los denomina como MP1, MP2, MP3, MP4, MP5, MP6 y MP7. Estos configuran los canales lógicos primarios.

Los modos de servicio secundarios son 4 y se los denomina como MS1, MS2, MS3 y MS4. Estos configuran los canales lógicos secundarios.

3.4.2 Canales Lógicos

Un canal lógico es la ruta de la señal que conduce los SDU, de la capa 2 mediante tramas hacia la capa 1 con un grado de servicio específico, determinado por el modo de servicio. La capa 1 de la interfaz de FM provee 10 canales lógicos a las capas superiores. Aun así no todos estos canales son usados en cada uno de los modos de servicio.

3.4.2.1 Canales Lógicos Primarios

Existen 4 canales lógicos primarios que son usados tanto en el modo Híbrido

como en el modo totalmente digital. Se los denomina como P1, P2, P3 y PIDS.

3.4.2.2 Canales Lógicos Secundarios

Existen 6 canales lógicos secundarios que son usados solo en el modo totalmente digital. Se los denomina como S1, S2, S3, S4, S5 y SIDS.

3.4.2.3 Funcionalidad de los canales lógicos

Del canal lógico P1 al P3 están diseñados para transportar datos y audio. Del S1 al S5 pueden ser configurados para transportar datos o audio con sonido "surround". Los canales lógicos PIDS y SIDS están diseñados para transportar información de servicio de datos IBOC (IDS).

El desempeño de cada uno de estos canales lógicos depende de 3 parámetros característicos: transferencia, latencia y robustez. La codificación del canal, el mapeo espectral, la profundidad de interleaving, y el retardo de diversidad son los componentes que describen estos 3 parámetros. El modo de servicio configura estos componentes apropiadamente para cada canal lógico activo.

La transferencia define la capacidad de datos de un canal lógico, sin considerar el encabezado de la trama que viene de la capa 2. Este parámetro es calculado como el producto del tamaño de tramas transmitidas y la tasa de transferencia de la trama.

La latencia es el retardo que un canal lógico impone sobre una trama de transferencia cuando pasa a través de la capa 1. Este retardo será la suma del tiempo de entrelazado, sin tomar en cuenta los retardos de procesamiento o los retardos producidos en las capas superiores. Entonces dependiendo de la profundidad del entrelazado determinará la cantidad de retardos en un canal lógico.

Cuando hablamos de la robustez, estamos hablando de la capacidad que tiene un

canal lógico para resistir los deterioros del canal como el ruido, interferencia y desvanecimiento. Tanto el mapeo espectral, tasa de codificación del canal, la profundidad de entrelazado y la diversidad de retardos son determinantes en la robustez del canal. Además el modo de servicio especifica la velocidad y la sincronización de las tramas en cada canal lógico activo.

En las tablas 3.3 hasta la 3.13 se presentan las relaciones del modo de servicio con los canales lógicos y sus parámetros característicos. En donde la robustez es un número relativo desde el 1 hasta el 11, donde el 1 expresa una alta robustez y el once el nivel de menor robustez.

Canal Lógico	Transferencia (kbps)	Latencia (segundos)	Robustez relativa
P1	98.4	1.49	2
PIDS	0.9	0.09	3

TABLA 3.3 Parámetros característicos del modo de servicio del modo MP1

Canal Lógico	Transferencia (kbps)	Latencia (segundos)	Robustez relativa
P1	98.4	1.49	2
P3	12.4	0.19	4
PIDS	0.9	0.09	3

TABLA 3.4 Parámetros característicos del modo de servicio del modo MP2

Canal Lógico	Transferencia (kbps)	Latencia (segundos)	Robustez relativa
P1	98.4	1.49	2
P3	24.8	0.19	4
PIDS	0.9	0.09	3

TABLA 3.5 Parámetros característicos del modo de servicio del modo MP3

Canal Lógico	Transferencia (kbps)	Latencia (segundos)	Robustez relativa
P1	98.4	1.49	2
P3	49.6	0.19	4
PIDS	0.9	0.09	3

TABLA 3.6 Parámetros característicos del modo de servicio del modo MP4

Canal Lógico	Transferencia (kbps)	Latencia (segundos)	Robustez relativa
P1	24.8	4.64	1
P2	73.6	1.49	2
P3	24.8	0.19	4
PIDS	0.9	0.09	3

TABLA 3.7 Parámetros característicos del modo de servicio del modo MP5

Canal Lógico	Transferencia (kbps)	Latencia (segundos)	Robustez relativa
P1	49.6	4.64	1
P2	48.8	1.49	2
PIDS	0.9	0.09	3

TABLA 3.8 Parámetros característicos del modo de servicio del modo MP6

Canal Lógico	Transferencia (kbps)	Latencia (segundos)	Robustez relativa
P1	24.8	0.19	4
P2	98.4	1.49	2
P3	24.8	0.19	4
PIDS	0.9	0.09	3

TABLA 3.9 Parámetros característicos del modo de servicio del modo MP7

Canal Lógico	Transferencia (kbps)	Latencia (segundos)	Robustez relativa
S4	98.4	0.19	7
S5	5.5	0.09	6
SIDS	0.9	0.09	8

TABLA 3.10 Parámetros característicos del modo de servicio del modo MS1

Canal Lógico	Transferencia (kbps)	Latencia (segundos)	Robustez relativa
S1	24.8	4.64	5
S2	73.6	1.49	9
S3	24.8	0.19	11
S5	5.5	0.09	6
SIDS	0.9	0.09	10

TABLA 3.11 Parámetros característicos del modo de servicio del modo MS2

Canal Lógico	Transferencia (kbps)	Latencia (segundos)	Robustez relativa
S1	49.6	4.64	5
S2	48.8	1.49	9
S5	5.5	0.09	6
SIDS	0.9	0.09	10

TABLA 3.12 Parámetros característicos del modo de servicio del modo MS3

Canal Lógico	Transferencia (kbps)	Latencia (segundos)	Robustez relativa
S1	24.8	0.19	11
S2	98.4	1.49	9
S3	24.8	0.19	11
S5	5.5	0.09	6
SIDS	0.9	0.09	10

TABLA 3.13 Parámetros característicos del modo de servicio del modo MS4

3.4.3 Estructura funcional de la capa física

En la Figura 3.1 podemos ver un diagrama de bloques funcional de la capa 1.

3.4.3.1 SAP's de Capa 1

Definen la interfaz entre la capa 2 y la capa 1 del stack de protocolos del sistema. Cada canal lógico y el SCCH tienen su propio SAP. Cada trama que ingresa a la capa 1 tiene un tamaño y velocidad único determinado por el modo de servicio.

3.4.3.2 Aleatorización

Su término en inglés es scrambling. Este bloque realiza la función de aleatorizar los datos en cada canal lógico para “blanquear” y mitigar la periodicidad de la señal cuando la señal es demodulada en un demodulador FM analógico convencional.

3.4.3.3 Codificación de la señal

Esta función utiliza la codificación convolucional para añadir redundancia a la información digital para mejorar su fiabilidad en la presencia de alteraciones de canal. El tamaño del vector del canal lógico aumenta en forma inversa a la velocidad de transferencia. Las técnicas de codificación son configuradas por el modo de servicio.

3.4.3.4 Entrelazado

Su término en inglés es interleaving. Este entrelazado en tiempo y frecuencia se utiliza para mitigar los efectos de los errores por ráfaga. Esta técnica está adaptada al ambiente de desvanecimiento característico de la zona del espectro en el que se trabaja en FM, y es configurable por el modo de servicio.

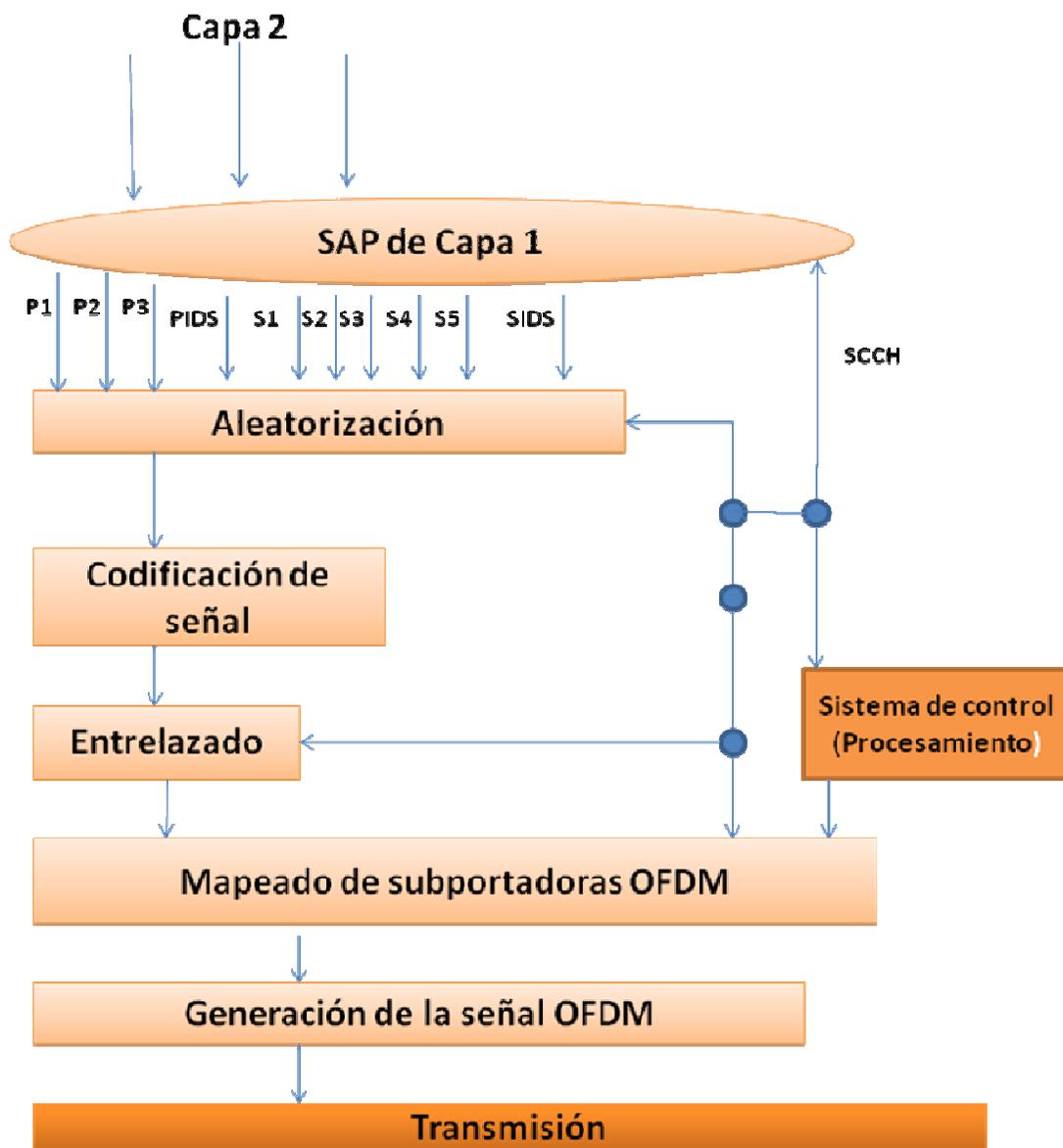


Figura 3.1 Diagrama de bloques funcional de la capa 1 de IBOC FM

3.4.3.5 Sistema de Control (Procesamiento)

Esta función genera una matriz de datos de control del sistema que incluye control y estado del sistema, en las subportadoras de referencia para la transmisión.

3.4.3.6 Mapeo de las subportadoras OFDM

Esta función asigna las matrices de intercalados y la matriz de control del sistema a las subportadoras OFDM. Una fila de cada matriz activa de intercalados procesa cada símbolo OFDM para producir un vector de salida X el cual es la representación en el dominio de la frecuencia de la señal. El mapeo está específicamente adaptado al ambiente de interferencia no uniforme y es una función del modo de servicio.

3.4.3.7 Generación de la señal OFDM

Esta función genera la porción digital de la señal en el dominio del tiempo. Los vectores que ingresan a este bloque son transformados en un pulso en el dominio del tiempo definiendo un símbolo OFDM.

3.4.3.8 Subsistema de Transmisión

Este bloque es el encargado de dar el formato para la transmisión en la banda de frecuencia correspondiente a FM, esto quiere decir, la concatenación de los símbolos y el proceso de la conversión hacia arriba de la frecuencia desde la banda base. Además cuando se trata de la señal híbrida, este bloque se encarga de combinar la señal analógica con la digital.

3.4.4 Subsistema de Transmisión

En el subcapítulo anterior vimos la utilidad de este bloque en el sistema funcional de la capa 1. La entrada a este bloque es un símbolo OFDM, complejo en banda base en el dominio del tiempo denominado como $y_n(t)$. Cuando se trata del sistema Híbrido o Híbrido extendido, también tendremos la entrada analógica de sonido denominada $m(t)$. Además tendremos la entrada analógica del control de diversidad de retardo desde la capa 2 a través de CCH. La salida de este bloque será la señal IBOC FM en la banda VHF.

En la figura 3.2 podemos ver un diagrama de bloques que explica cómo trabaja el subsistema de transmisión cuando se transmiten ondas híbridas.

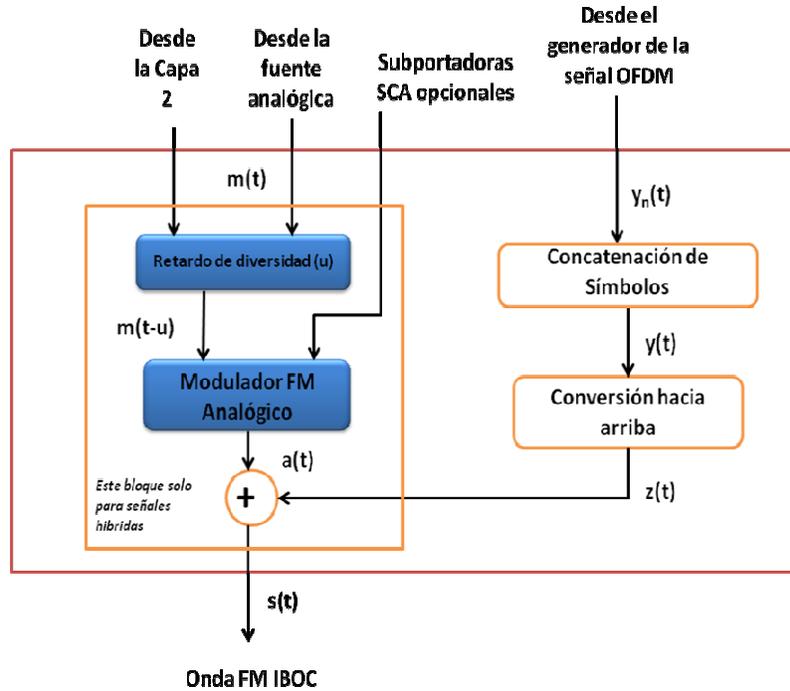


Figura 3.2 Diagrama de bloques del subsistema de transmisión para señales híbridas e híbridas extendidas

En la figura 3.3 vemos como sería la configuración del subsistema de transmisión en el caso que se transmitan ondas totalmente digitales.

A continuación se presenta una explicación de cada uno de los bloques que conforman el subsistema de transmisión.

3.4.4.1 Concatenación de símbolos

Los símbolos individuales OFDM en el dominio del tiempo generados por el generador de señales OFDM son concatenados para producir pulsos continuos. De esta forma la señal discreta de símbolos generados $y_n(t)$ se convierte en una señal continua $y(t)$.

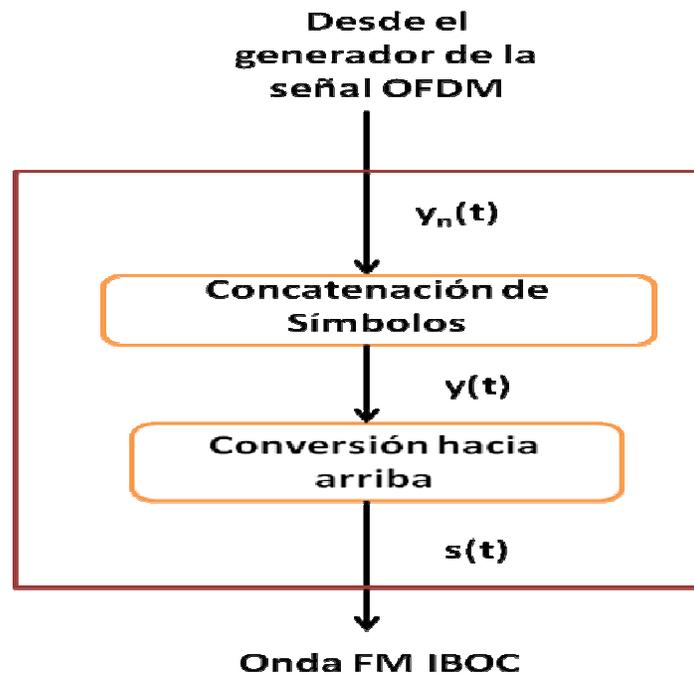


Figura 3.3 Diagrama de bloques del subsistema de transmisión para señales totalmente digitales

3.4.4.2 Conversión hacia arriba

Esta señal continua $y(t)$ es trasladada de la banda base a la frecuencia de la portadora. En este sistema se mantiene el espaciamiento entre cada canal que están numerados desde el 201 al 300, estando el 201 centrado en los 88.1 MHz y el canal 300 centrado en 107.9 MHz.

3.4.4.3 Retardo de diversidad

Cuando estamos transmitiendo en el modo híbrido, la señal producida por el generador de señales OFDM $z(t)$, es mezclada con la señal análoga de FM $a(t)$, como se muestra en la figura 3.2. Como podemos ver en dicha figura, el primer paso es aplicar a la señal en banda base analógica $m(t)$, el retardo de diversidad.

El bit de control del retardo de diversidad analógico (DD), recibido desde la capa 2 a través de SCCH, es usado por los protocolos superiores para activar o

desactivar este retardo de diversidad. Para desactivar este retardo, DD debe estar en 0, caso contrario se encontrará en 1.

Cuando esté activado, se aplicará un pequeño retardo u a la señal analógica en banda base $m(t)$, tal que al salir del combinador analógico digital la señal digital estará separada de la señal analógica por el tiempo establecido.

Tanto la señal analógica como la digital contienen la misma señal de audio, pero la señal analógica estará retrasada en el tiempo. De tal modo, cuando la señal digital no esté disponible, el sistema se encargará de tomar automáticamente la señal analógica retrasada en el tiempo y así no cortar el servicio de manera brusca.

3.4.4.4 Modulador FM analógico

Este bloque es el encargado de modular la señal resultante de sumar la señal analógica y la digital. Además también se puede sumar una señal que contiene los SCA's.

3.4.4.5 Combinador Analógico Digital

Cuando estamos transmitiendo en el modo híbrido, la señal digital y la señal analógica que contienen la misma información, son combinados en este bloque para producir la señal IBOC FM $s(t)$. Ambas señales se encuentran centradas en la misma portadora.

3.4.4.6 Sincronización GPS

Para asegurar un tiempo preciso de sincronización, una rápida adquisición por parte del receptor, cada estación debe estar sincronizada con el sistema de posicionamiento global (GPS). Las transmisiones que no tengan esta característica no podrán contar con los beneficios de una sintonización más rápida ya que no se puede sincronizar con otras estaciones.

3.4.5 Formas de onda y Espectro

En este subcapítulo revisaremos de manera más detallada como se conforma el espectro de la señal resultante de todos los procesos arriba descritos. Se prestara mayor atención a los espectros del modo Híbrido ya que sería el primer paso para la migración propuesta.

Como explicamos en el capítulo 1, las subportadoras OFDM están formadas por particiones de frecuencia. Según la convención del estándar cada una de estas particiones está formada por 18 subportadoras de datos y una subportadora de referencia. Estas agrupaciones de frecuencia pueden ser de dos tipos, las del tipo de ordenamiento A y las del tipo de ordenamiento B. Estos dos tipos de ordenamiento dependerán de la localización relativa dentro del espectro. En la figura 3.4 y 3.5 podemos ver las particiones de frecuencia según el ordenamiento tipo A y tipo B respectivamente.

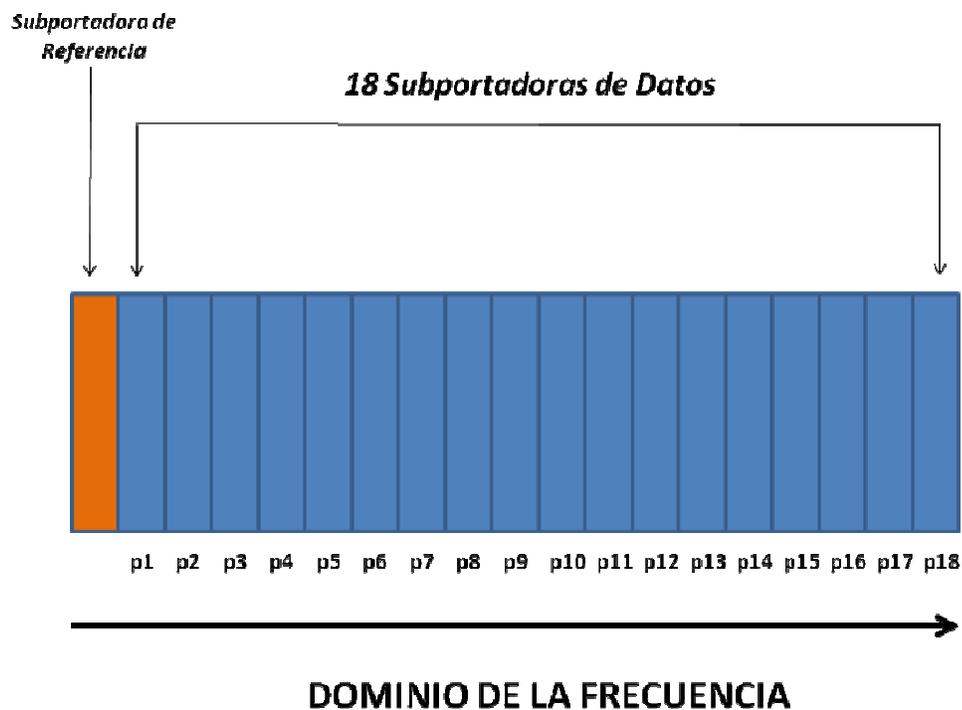


Figura 3.4 Partición de frecuencias del tipo A

Para cada uno de estos tipos de partición, los datos desde la subportadora 1 a la

18 provienen de los SDU de la capa 2 mientras que la subportadora de referencia proviene del sistema de control. Todas estas subportadoras están numeradas desde la 0 hasta la 546, positiva o negativa dependiendo esto del tipo de ordenamiento.

Además de la subportadora de referencia en cada partición de frecuencias, existen 5 subportadoras de referencia adicionales localizadas en las subportadoras 546, 279, 0, -279 y -546. El efecto de estas subportadoras adicionales produce una distribución homogénea a través del espectro final.

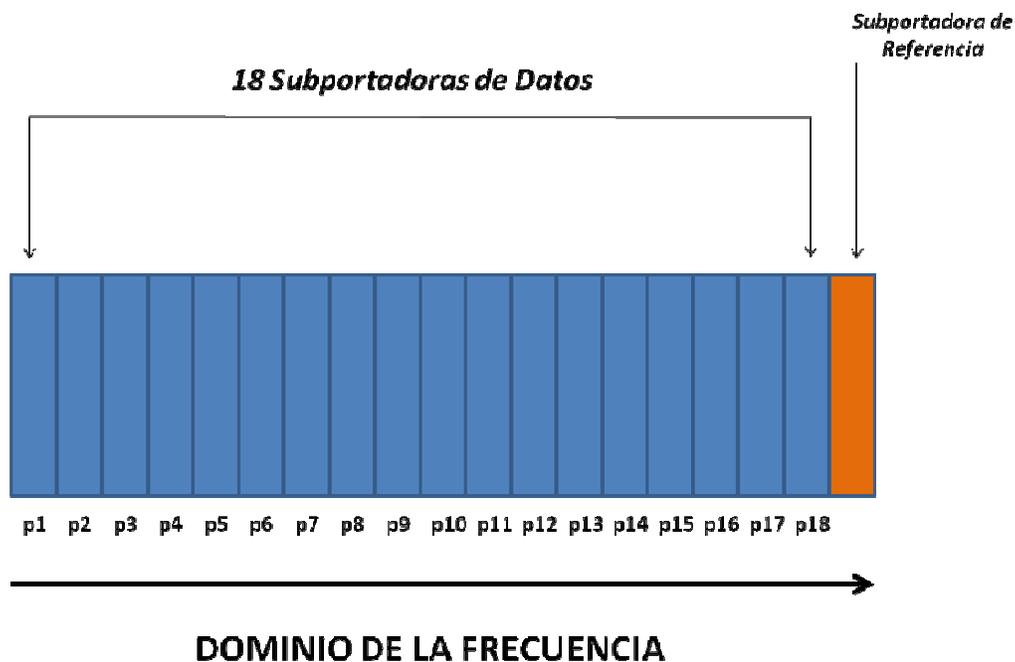


Figura 3.5 Partición de frecuencias del tipo B

En la figura 3.6 y 3.7 podemos ver el posicionamiento de las subportadoras tanto inferiores como superiores respectivamente y la denominación de las subportadoras de referencia y de las subportadoras OFDM.

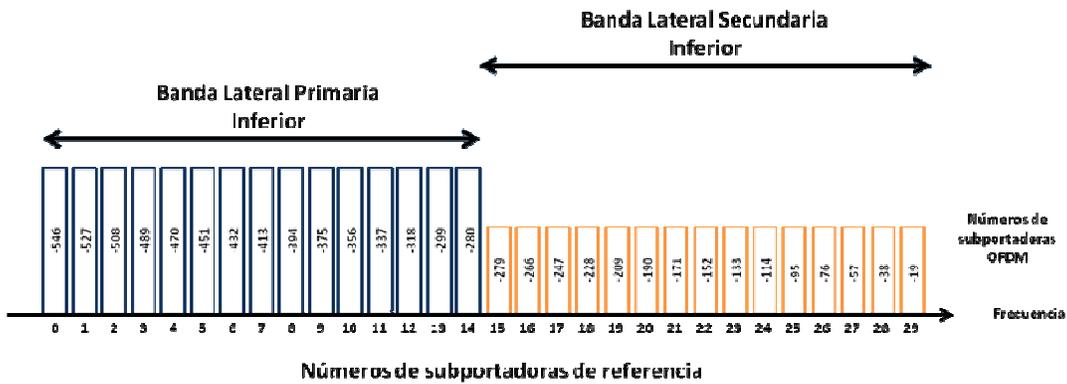


Figura 3.6 Subportadoras inferiores (Referenciales y OFDM)

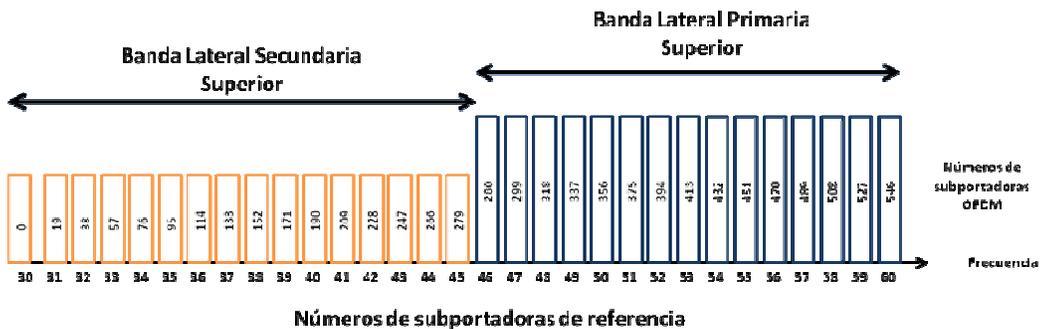


Figura 3.7 Subportadoras superiores (Referenciales y OFDM)

3.4.5.1 Espectro Híbrido

La señal digital es transmitida a través de bandas laterales principales primarias a los lados de la señal analógica. Cada una de estas bandas está compuesta por 10 divisiones de frecuencia, es decir desde la subportadora OFDM número 356 hasta la 545, tanto en la superior como en la inferior, más la subportadora de referencia 546 de igual manera.

La relación de potencia entre estas portadoras y la señal analógica es uniforme en toda la señal digital y es igual a un factor que depende del tipo de señal ya sea híbrida, híbrida extendida o totalmente digital. Este factor se lo denomina a_0 y posteriormente se definirá su valor para cada uno de los modos descritos.

Sabiendo que la separación entre subportadoras está dada por la relación:

$$\Delta f = \text{canal FM} / \text{número de subportadoras} = 198402 \text{ Hz} / 546 = 363.37 \text{ Hz}$$

Y que en 10 particiones de 19 subportadoras hay 190 subportadoras, el total de ancho de banda que ocupa la señal digital sería de 69041 Hz por banda lateral.

En la figura 3.8 podemos ver una representación grafica del espectro resultante.

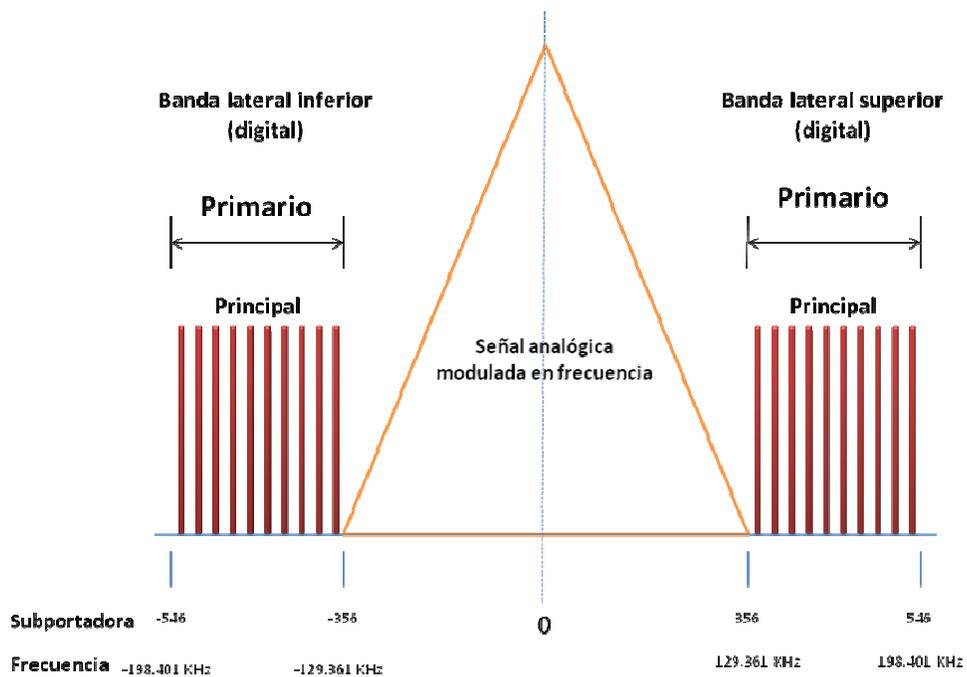


Figura 3.8 Espectro del sistema IBOC FM Híbrido

3.4.5.2 Espectro Híbrido Extendido

El espectro de este modo de transmisión, resulta de añadir bandas laterales primarias extendidas al espectro híbrido, ya sea 1, 2 o 4 dependiendo del modo de servicio.

Es decir que la señal digital será transportada por las 10 particiones principales antes mencionadas, desde la subportadora 356 hasta la 546, más las portadoras de las bandas extendidas:

- De la 337 a la 355 en el caso de aumentar una partición
- De la 318 a la 355 en el caso de aumentar dos particiones ó
- De la 280 a la 355 en el caso de aumentar cuatro particiones.

Al igual que en el modo híbrido, estas bandas añadidas tendrán una relación a_0 con respecto al total de potencia de la señal analógica.

Al igual que el modo híbrido, este modo ocupara un ancho de banda de 69041 Hz más el ancho de banda ocupado por las bandas añadidas que sería:

- 6540 Hz en el caso de aumentar una partición
- 13444 Hz en el caso de aumentar dos particiones ó
- 27253 Hz en el caso de aumentar cuatro particiones.

En la figura 3.9 vemos el espectro resultante en el caso de que se aumenten 4 particiones de frecuencia.

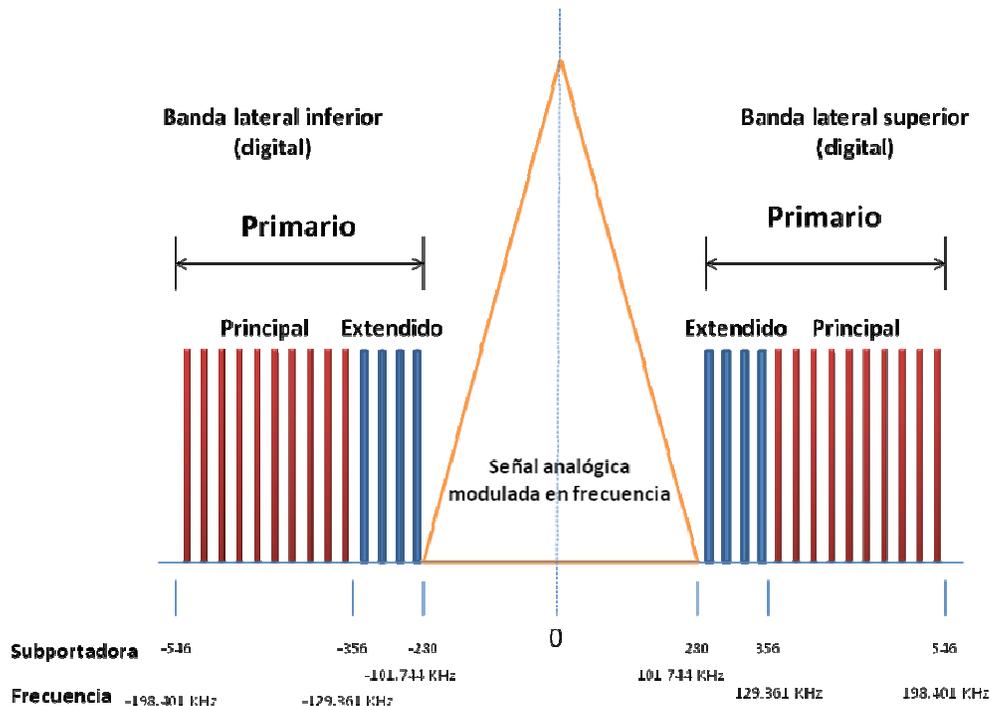


Figura 3.9 Espectro del sistema IBOC FM Híbrido extendido

3.4.5.3 Espectro Totalmente Digital

Finalmente, el espectro totalmente digital, resulta de remover totalmente la señal analógica del espectro híbrido extendido y añadiendo en su espacio bandas laterales secundarias de menor potencia.

Entonces, tendríamos las 10 particiones principales en cada banda, mas las 4 bandas principales extendidas que conformarían la banda principal del espectro totalmente digital.

La banda secundaria tendría 10 particiones principales y 4 particiones extendidas con la diferencia que las particiones principales estarían mas próximas a la portadora que las particiones secundarias. La zona restante corresponde a 12 subportadoras denominadas secundarias protegidas y la subportadora de referencia número 279. Son denominadas como protegidas por encontrarse en la zona del espectro menos sensible a interferencias analógicas o digitales. Esta zona además no está dividida en particiones de frecuencias.

En este caso, la banda principal tendría un factor de relación a_2 , y la banda secundaria tendría una relación que puede variar entre 4 niveles que van del a_4 hasta el a_7 . En la figura 3.10 vemos una representación del espectro resultante para el modo totalmente digital.

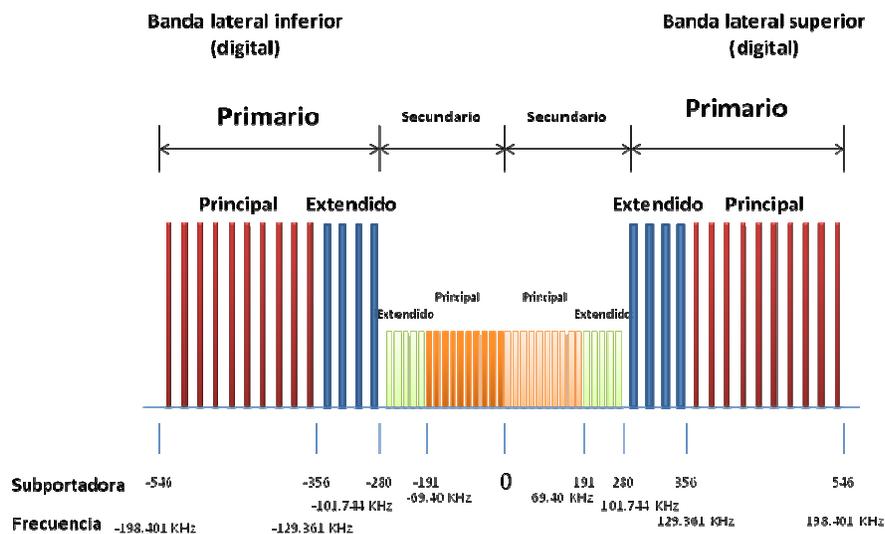


Figura 3.10 Espectro del sistema IBOC FM totalmente digital

3.4.6 Mapeo Espectral Primario

Dependiendo el modo de servicio configurado, cada canal lógico es asignado a un grupo de particiones de frecuencia.

A continuación se describirá como se realiza esta distribución y la aplicación que tiene cada uno de estos grupos.

3.4.6.1 Mapeo Espectral de Modo de servicio MP1

Para este modo de servicio se utilizan los canales lógicos P1 y PIDS. El canal P1 se encarga de llevar el audio de la programación principal, mientras que el canal PIDS lleva información tipo SIS. Tanto P1 como PIDS utilizan las 10 particiones principales en el modo híbrido.

En la figura 3.11 vemos una representación de la distribución de los canales en las particiones de frecuencia utilizadas en este modo de servicio.

3.4.6.2 Mapeo Espectral de Modo de servicio MP2

Para este modo de servicio se utilizan los canales lógicos P1, P3 y PIDS. El canal P1 se encarga de llevar el audio de la programación principal, mientras que el canal PIDS lleva información tipo SIS. El canal lógico P3 se utiliza para llevar información adicional como MPS, PDS, o AAS. Al igual que en el modo de servicio MP1, los canales P1 y PIDS ocupan las 10 particiones principales del modo híbrido extendido y el canal lógico P3 utiliza una partición principal extendida.

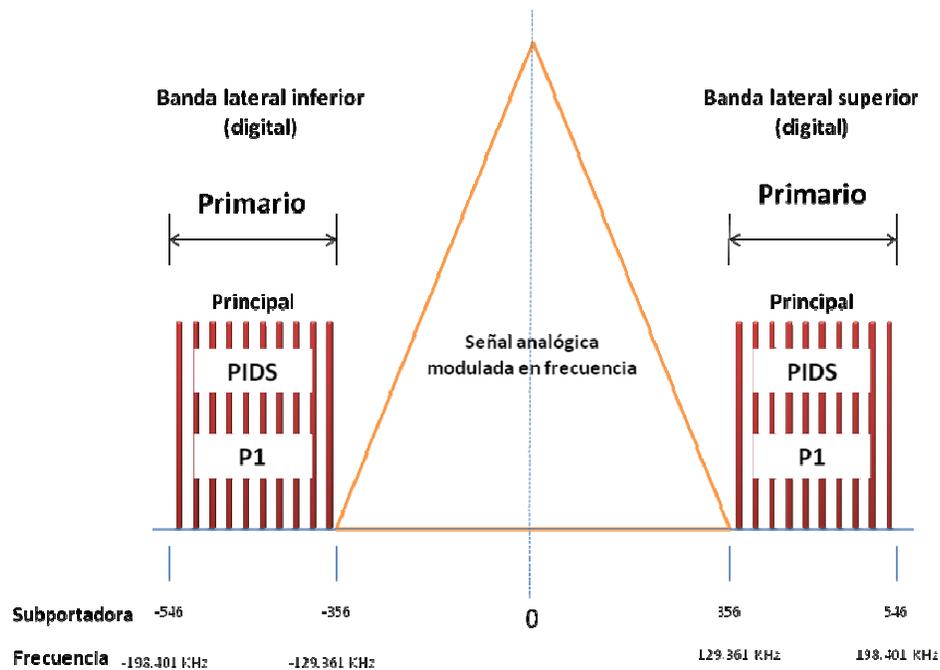


Figura 3.11 Mapeo Espectral Modo de servicio MP1

En la figura 3.12 vemos una representación de la distribución de los canales en las particiones de frecuencia utilizadas en este modo de servicio.

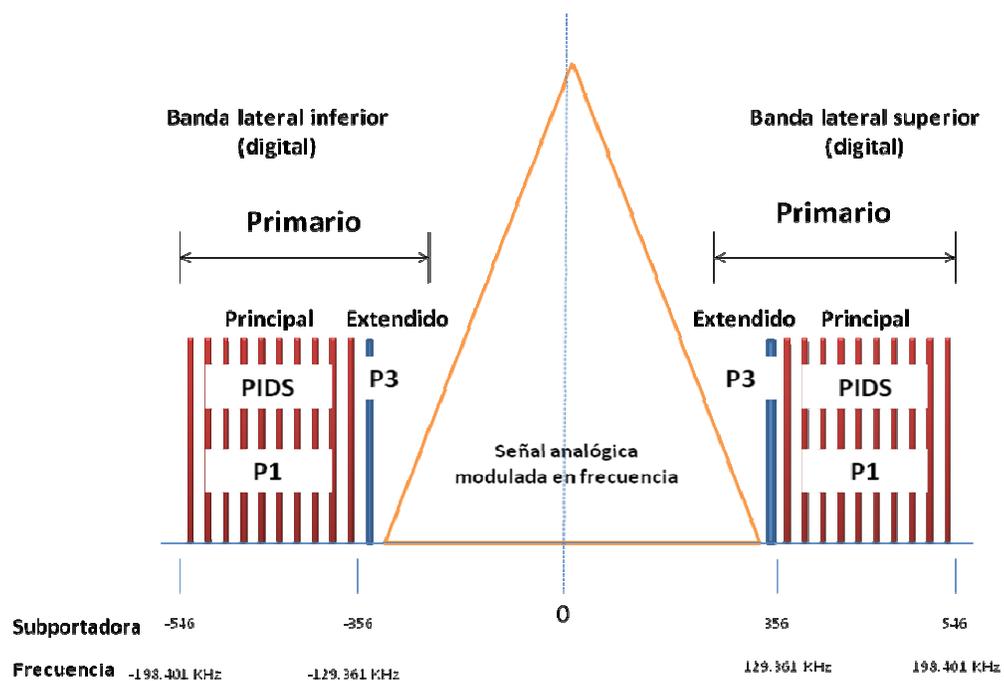


Figura 3.12 Mapeo Espectral Modo de servicio MP2

3.4.6.3 Mapeo Espectral de Modo de servicio MP3

Para este modo de servicio se utilizan los canales lógicos P1, P3 y PIDS. El canal P1 se encarga de llevar el audio de la programación principal, mientras que el canal PIDS lleva información tipo SIS. El canal lógico P3 se utiliza para llevar información adicional como MPS, PDS, o AAS. Al igual que en el modo de servicio MP1, los canales P1 y PIDS ocupan las 10 particiones principales del modo híbrido extendido y el canal lógico P3 utiliza dos particiones principales extendidas.

En la figura 3.13 vemos una representación de la distribución de los canales en las particiones de frecuencia utilizadas en este modo de servicio.

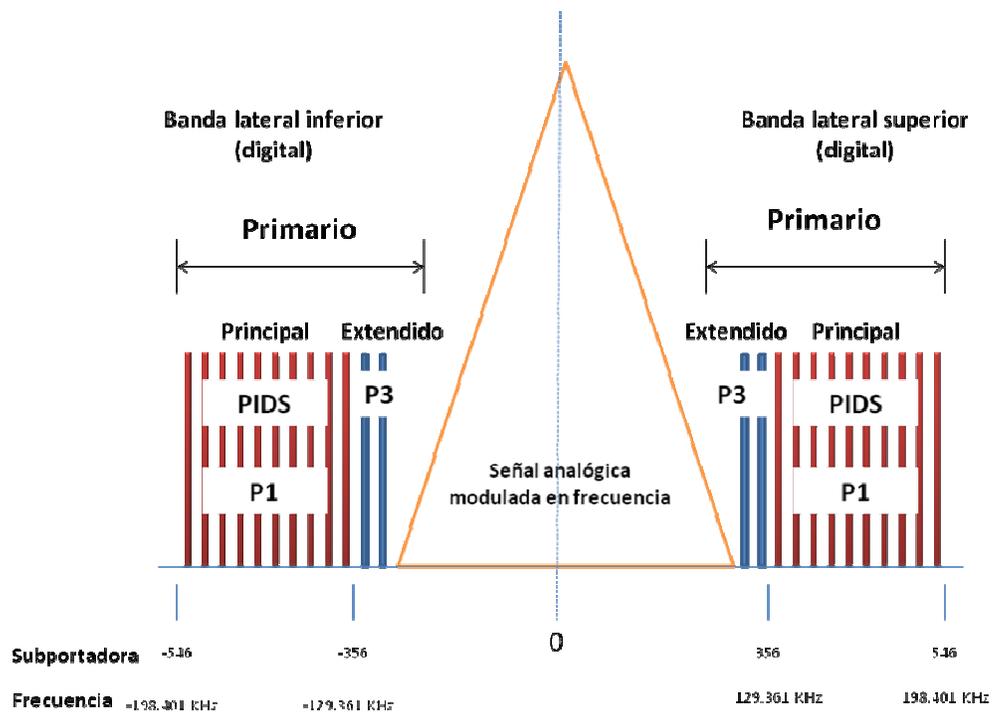


Figura 3.13 Mapeo Espectral Modo de servicio MP3

3.4.6.4 Mapeo Espectral de Modo de servicio MP4

Para este modo de servicio se utilizan los canales lógicos P1, P3 y PIDS. El canal P1 se encarga de llevar el audio de la programación principal, mientras que el canal PIDS lleva información tipo SIS. El canal lógico P3 se utiliza para llevar

información adicional como MPS, PDS, o AAS. Al igual que en el modo de servicio MP1, los canales P1 y PIDS ocupan las 10 particiones principales del modo híbrido extendido y el canal lógico P3 utiliza cuatro particiones principales extendidas.

En la figura 3.14 vemos una representación de la distribución de los canales en las particiones de frecuencia utilizadas en este modo de servicio.

En los 4 modos analizados hasta ahora, el funcionamiento es idéntico, cambiando solo el ancho de banda que se utiliza para el canal lógico P3, (ver tablas 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5).

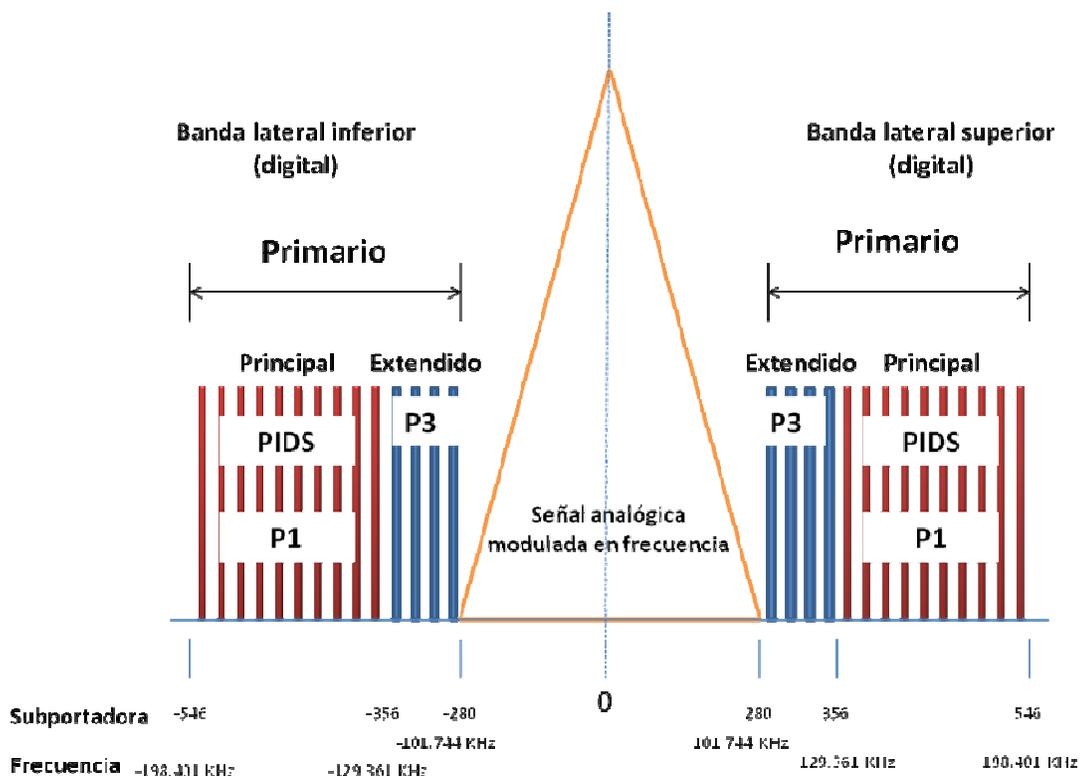


Figura 3.14 Mapeo Espectral Modo de servicio MP4

3.4.6.5 Mapeo Espectral de Modo de servicio MP5

Para este modo de servicio se utilizan los canales lógicos P1, P2, P3 y PIDS. El canal P1 se encarga de llevar el audio básico de la programación principal,

mientras que el canal PIDS lleva información tipo SIS. El canal lógico P2 se encarga de llevar el audio reforzado. Al juntar estos dos canales se obtiene audio con calidad de CD.

Este audio reforzado transportado por el canal lógico P2 no es independiente y solo puede ser usado con el audio básico. El canal lógico P1 también se encuentra retardado y mapeado en dos particiones extendidas de la banda principal lo que provee a este canal de una mayor robustez. El canal lógico P3 se utiliza para llevar información adicional como MPS, PDS, o AAS. El canal lógico P3 utiliza dos particiones principales extendidas. Este modo de servicio puede ser utilizado tanto en el modo híbrido extendido como en el modo totalmente digital.

En la figura 3.15 vemos una representación de la distribución de los canales en las particiones de frecuencia utilizadas en este modo de servicio.

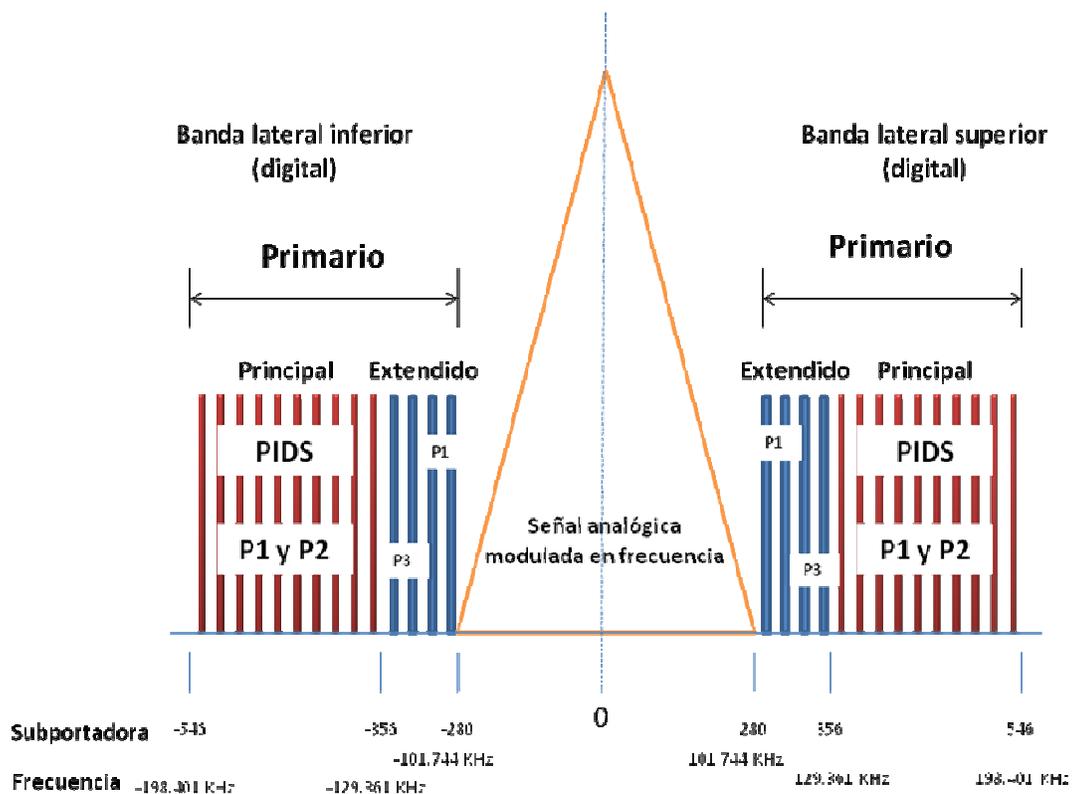


Figura 3.15 Mapeo Espectral Modo de servicio MP5

3.4.6.6 Mapeo Espectral de Modo de servicio MP6

Para este modo de servicio se utilizan los canales lógicos P1, P2 y PIDS. El canal P1 se encarga de llevar el audio básico de la programación principal y a diferencia del modo de servicio MP5 este canal es mejorado a una velocidad de 50 kbps aproximadamente como podemos ver en la tabla 3.7, mientras que el canal PIDS lleva información tipo SIS. El canal lógico P2 se encarga de llevar el audio reforzado. Al juntar estos dos canales se obtiene audio con calidad de CD. El canal lógico P1 también se encuentra retardado y mapeado en cuatro particiones extendidas de la banda principal lo que provee a este canal de una mayor robustez y por lo que ya no hay disponibilidad para servicio de datos adicionales. Este modo de servicio puede ser utilizado en el modo híbrido extendido como en el modo totalmente digital. En la figura 3.16 vemos una representación de la distribución de los canales en las particiones de frecuencia utilizadas en este modo de servicio.

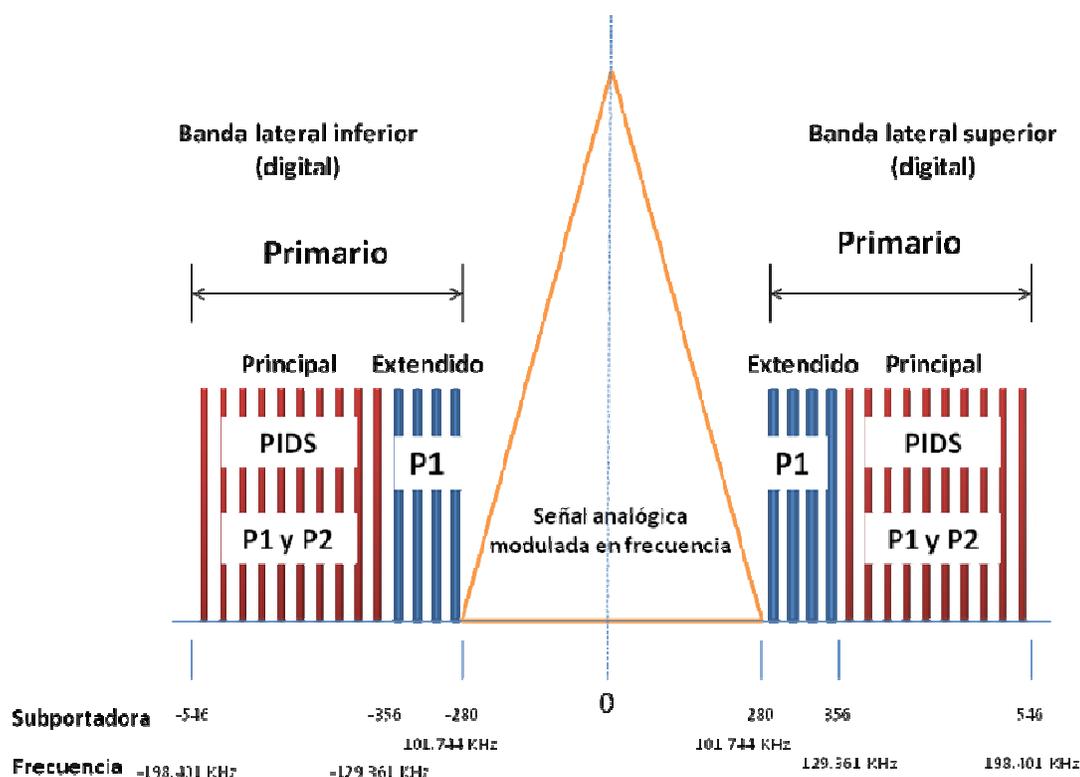


Figura 3.16 Mapeo Espectral Modo de servicio MP6

3.4.6.7 Mapeo Espectral de Modo de servicio MP7

Para este modo de servicio se utilizan los canales lógicos P1, P2, P3 y PIDS. El canal P1 se encarga de llevar el audio básico de la programación principal pero en este modo de servicio solo se utiliza dos particiones extendidas para transportar este audio básico, mientras que el canal PIDS lleva información tipo SIS. El canal lógico P2 se encarga de transportar datos tipo MPS, PDS, o AAA. El canal P3 también lleva servicios de datos adicionales lo que hace a este modo de servicio el más reforzado para envío de datos adicionales. Este modo de servicio puede ser utilizado en el modo híbrido extendido como en el modo totalmente digital.

En la figura 3.17 vemos una representación de la distribución de los canales en las particiones de frecuencia utilizadas en este modo de servicio.

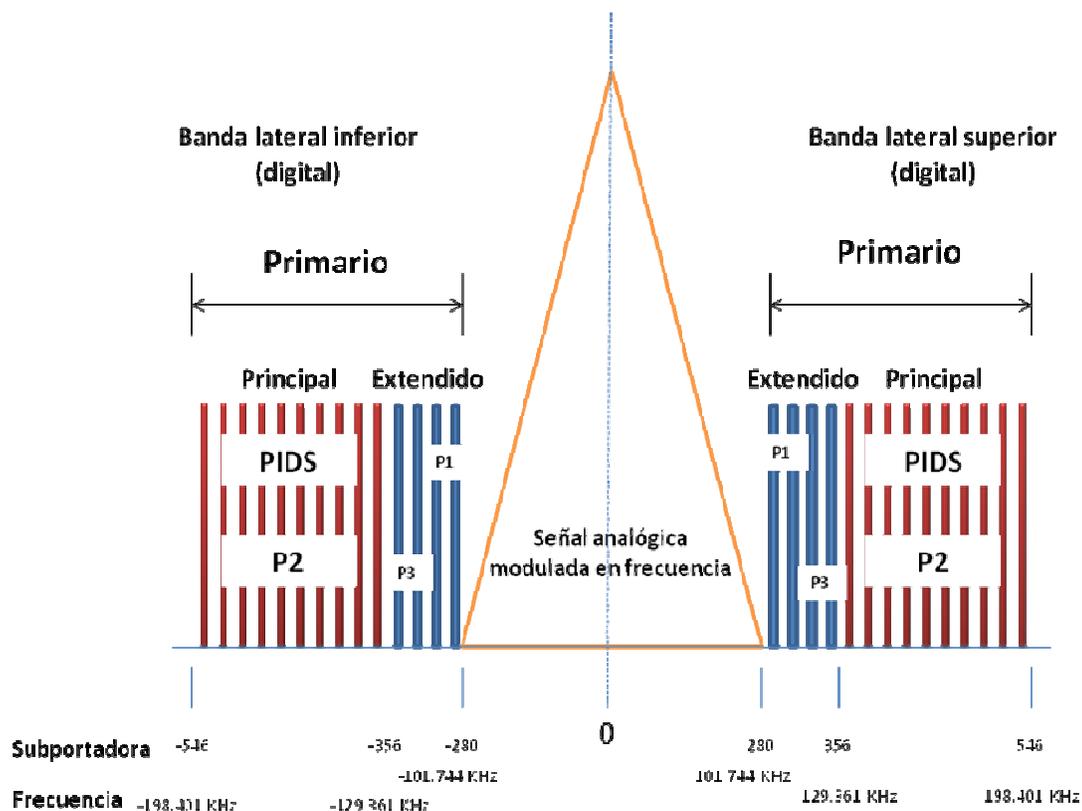


Figura 3.17 Mapeo Espectral Modo de servicio MP7

3.4.7 Mapeo Espectral Secundario

Dependiendo del modo de servicio configurado, cada canal lógico es asignado a un grupo de particiones de frecuencia en la banda lateral secundaria.

A continuación se describirá como se realiza esta distribución y la aplicación que tiene cada uno de estos grupos.

3.4.7.1 Mapeo Espectral de Modo de servicio MS1

Para este modo de servicio se utilizan los canales lógicos S4, S5 y SIDS. El canal S4 se encarga de llevar datos adicionales como MPS, PDS, o AAS ocupando las 14 particiones, las 10 principales y las 4 extendidas. El canal SIDS se encarga de transportar los datos SIS sobre las mismas particiones. El canal S5 se encarga también de transportar datos adicionales sobre las 12 subparticiones protegidas.

En la figura 3.18 vemos una representación de la distribución de los canales en las particiones de frecuencia utilizadas en este modo de servicio.

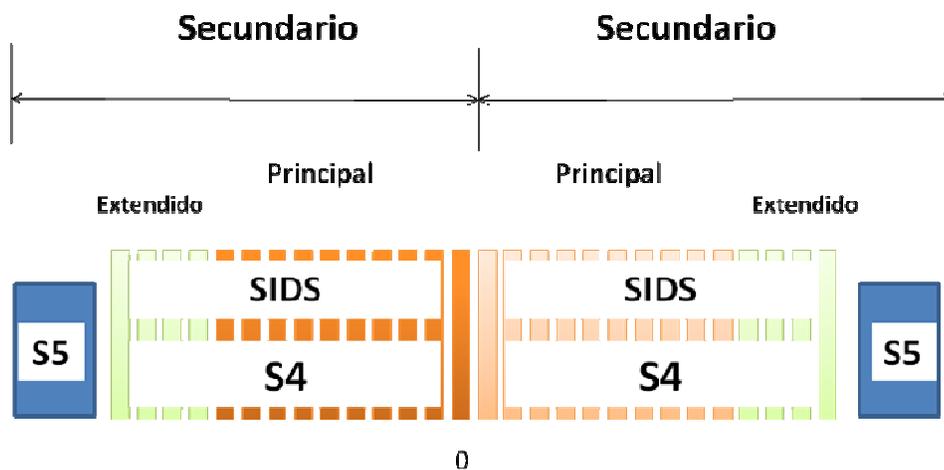


Figura 3.18 Mapeo Espectral Modo de servicio MS1

3.4.7.2 Mapeo Espectral de Modo de servicio MS2

Para este modo de servicio se utilizan los canales lógicos S1, S2, S3, S5 y SIDS. Los canales S1 y S2 se encargan de transportar audio auxiliar. El canal SIDS se encarga de transportar los datos SIS sobre las mismas particiones. El canal S3 se encarga de transportar datos adicionales tipo PDS, MPS y AAS. El canal S5 se encarga también de transportar datos adicionales sobre las 12 subparticiones protegidas. Este modo de servicio es equivalente al modo de servicio primario MP5.

En la figura 3.19 vemos una representación de la distribución de los canales en las particiones de frecuencia utilizadas en este modo de servicio.

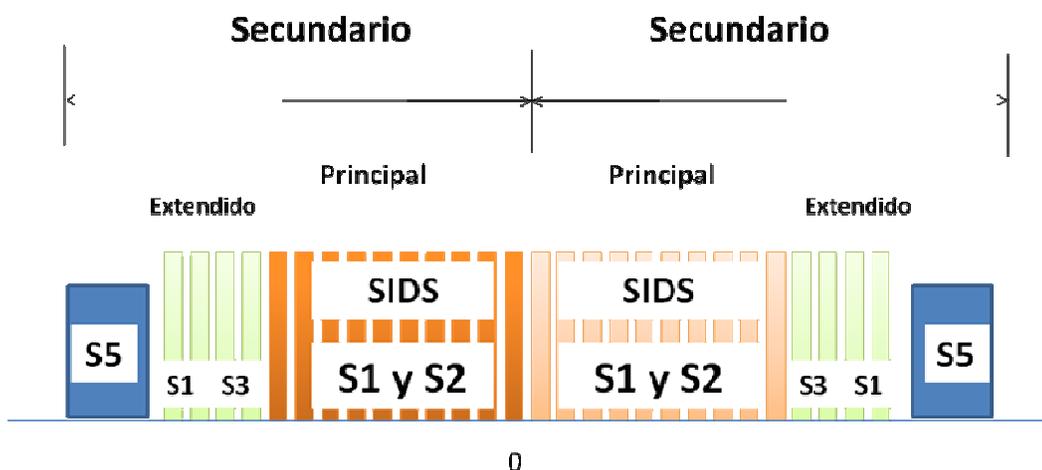


Figura 3.19 Mapeo Espectral Modo de servicio MS2

3.4.7.3 Mapeo Espectral de Modo de servicio MS3

Para este modo de servicio se utilizan los canales lógicos S1, S2, S5 y SIDS. Los canales S1 y S2 se encargan de transportar audio auxiliar, aumentando al doble el canal S1 mapeado en las particiones extendidas. El canal SIDS se encarga de transportar los datos SIS sobre las mismas particiones. El canal S5 se encarga también de transportar datos adicionales sobre las 12 subparticiones protegidas. Este modo de servicio es equivalente al modo de servicio primario MP6.

En la figura 3.20 vemos una representación de la distribución de los canales en las particiones de frecuencia utilizadas en este modo de servicio.

3.4.7.4 Mapeo Espectral de Modo de servicio MS4

Para este modo de servicio se utilizan los canales lógicos S1, S2, S3, S5 y SIDS. Los canales S1 se encargan de transportar audio básico de baja velocidad, mapeado en las 2 particiones extendidas más externas. El canal SIDS se encarga de transportar los datos SIS sobre las mismas particiones.

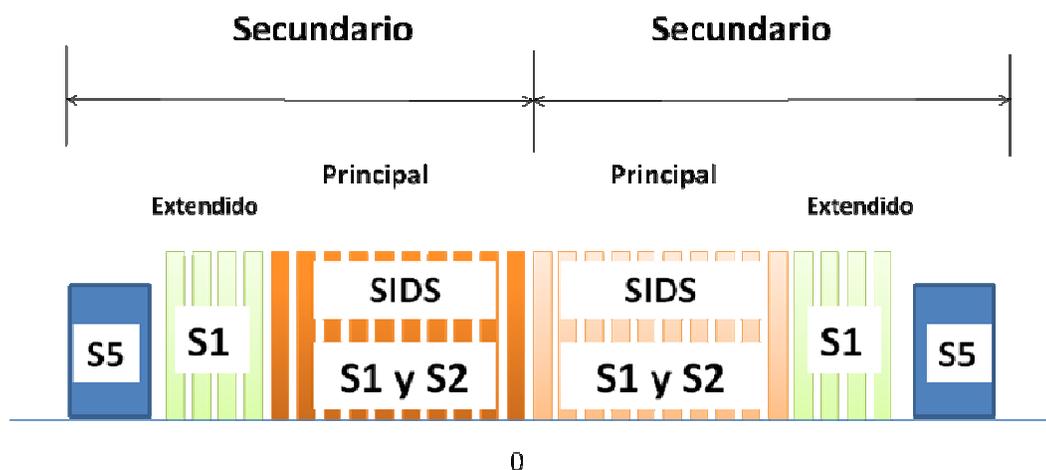


Figura 3.20 Mapeo Espectral Modo de servicio MS3

El canal S2 transporta datos adicionales sobre las particiones principales así como el canal S5 se encarga también de transportar datos adicionales sobre las 12 subparticiones protegidas. El canal S3 cumple la misma función sobre las dos particiones extendidas mas internas. Este modo de servicio es equivalente al modo de servicio primario MP7 y está diseñado para transmitir audio a baja velocidad dejando la capacidad restante para transporte de datos.

En la figura 3.21 vemos una representación de la distribución de los canales en las particiones de frecuencia utilizadas en este modo de servicio.

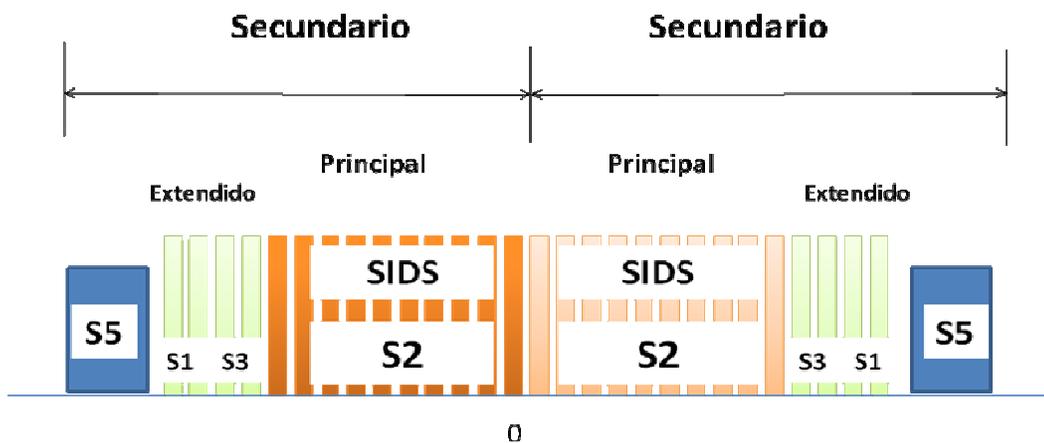


Figura 3.21 Mapeo Espectral Modo de servicio MS4

3.5 DATOS ADICIONALES SOBRE EL FUNCIONAMIENTO GENERAL [20] [21] [25]

Existen ciertas especificaciones claves para el sistema en estudio que serán descritas a continuación.

3.5.1 Tolerancias en la sincronización

El sistema puede manejar dos niveles de sincronización que ya fueron mencionados anteriormente:

- Nivel 1: Sincronización a través de GPS
- Nivel 2: Sincronización sin GPS

Si la estación desea poder proveer una mayor cantidad de servicios, es recomendable utilizar la sincronización en nivel 1.

La tolerancia en el caso del retardo de diversidad debe estar entre 10 microsegundos dentro del rango para ambos niveles de sincronización. La prueba que sirve para calibrar este tiempo de retardo consiste en insertar tanto en el canal analógico como en el canal digital una señal sinusoidal a 4 KHz con una

relación de -6 dB con respecto al nivel de la señal digital. El resultado en el receptor debe ser un tono conformado por una señal repetitiva durante 0.5 segundos seguida por una ausencia de señal durante 4.5 segundos.

La tolerancia de la frecuencia modulante y del reloj del generador de símbolos OFDM debe ser de 1×10^{-9} en el caso que se use el nivel de sincronización 1, y de 2×10^{-7} como máximo en el caso de usar el nivel de sincronización 2.

3.5.2 Límites de Emisión de señal y ruido

Las medidas para establecer estos márgenes que están en concordancia con la FCC y el título 47 CFR parte 73.317, se toman en la antena de entrada, promediando la densidad de potencia en un ancho de banda de 1 KHz durante 10 segundos.

Según la FCC, para una señal analógica FM, para la porción que está desfasada de la portadora entre 120 y 240 kHz la densidad de potencia debe ser de -25 dB/kHz. Si se trata del espectro localizado entre los 240 y los 600 kHz, la densidad de potencia debe ser -35 dB/kHz. Cuando la frecuencia esté mas allá de los 600 kHz entonces el límite estará establecido por -80 dB/kHz o el resultante del cálculo de $(-43 - (10 \cdot \log [\text{Potencia en vatios}]))$, se escogerá la que sea menor.

Cuando estamos con una señal híbrida, las medidas son relativas a las bandas primarias digitales. En la tabla 3.14 se muestran los límites permitidos dependiendo de la porción del espectro a la que se refiera. En la Figura 3.22 se muestra una representación grafica de los datos mostrados en la tabla 3.14.

Cuando nos referimos a una señal totalmente digital, al igual que la señal híbrida, la medida tomada será relativa a las bandas principales. En la tabla 3.15 se muestran los límites permitidos dependiendo de la porción del espectro a la que se refiera. En la Figura 3.23 se muestra una representación grafica de los datos mostrados en la tabla 3.15.

Frecuencia desfasada de la portadora kHz	Nivel dB/kHz
0-30 kHz	-60 dB
30-95 kHz	$[-60 + (\text{frecuencia en kHz} - 30 \text{ kHz}) * 0.3077]$ dB
95-100 kHz	$[-20 + (\text{frecuencia en kHz} - 100 \text{ kHz}) * 4.0]$ dB
200-205 kHz	$[-20 - (\text{frecuencia en kHz} - 200 \text{ kHz}) * 4.0]$ dB
205-270 kHz	$[-40 - (\text{frecuencia en kHz} - 205 \text{ kHz}) * 0.3077]$ dB
>270 kHz	-60 dB

Tabla 3.14 Limite de atenuación en el modo híbrido

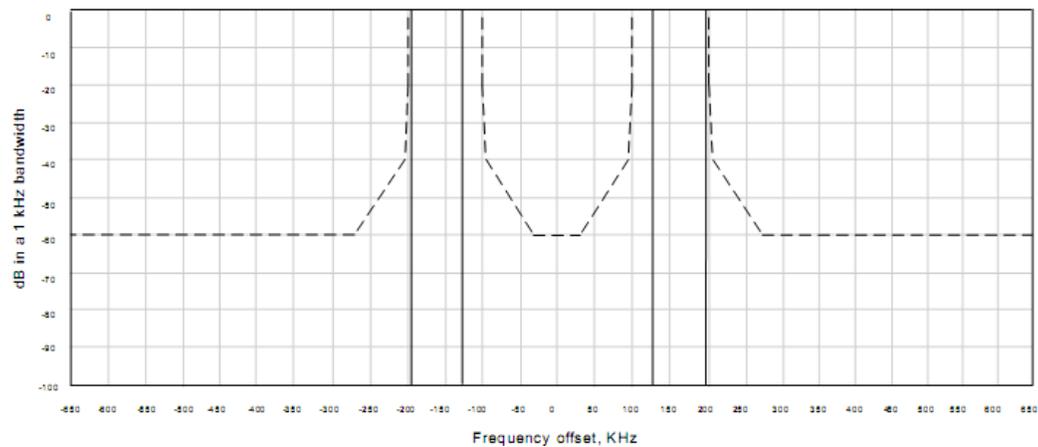


Figura 3.22 Representación grafica de la Tabla 3.14

Frecuencia desfasada de la portadora kHz	Nivel dB/kHz
0-100 kHz	-17 dB
200-207.5 kHz	$[-20 - (\text{frecuencia en kHz} - 200 \text{ kHz}) * 4.0]$ dB
207.5-270 kHz	$[-50 - (\text{frecuencia en kHz} - 207.5 \text{ kHz}) * 0.3200]$ dB
270-600 kHz	-70 dB
>600 kHz	-80 dB

Tabla 3.15 Limite de atenuación en el modo totalmente digital

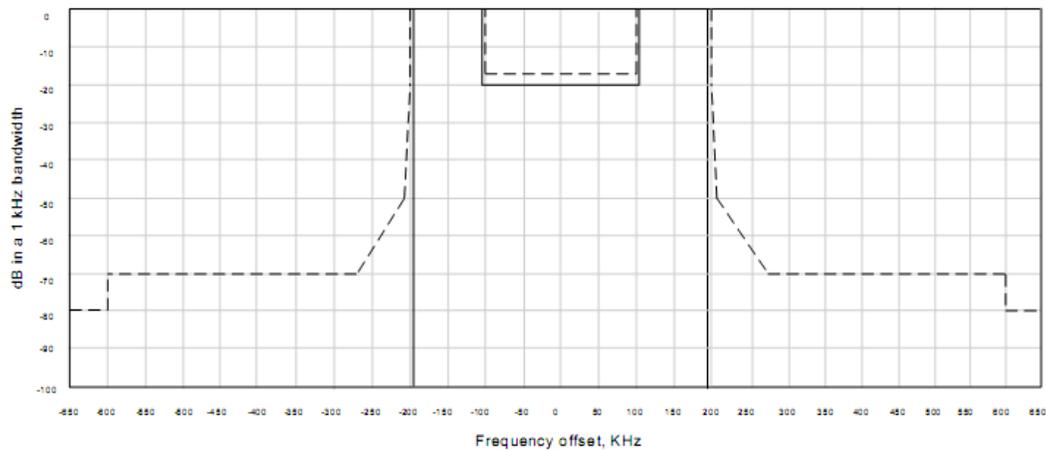


Figura 3.23 Representación gráfica de la Tabla 3.15

3.5.3 Niveles de las bandas laterales digitales

En la sección 3.5.5 se hizo referencia a “constantes de amplitud de referencia” con respecto a la potencia total de la frecuencia portadora para las bandas laterales digitales.

Estos valores fueron escogidos para que la señal digital tenga una potencia menor en 23 dB con respecto a la potencia total de la frecuencia portadora FM, en el caso de el modo híbrido e híbrido extendido.

Si se trata de una onda totalmente digital, esta constante se escogió para que la relación antes mencionada sea por lo menos de 10 dB para las bandas principales, y de 20 dB para las bandas secundarias. En la tabla 3.15 podemos ver los valores de estas constantes junto con los modos de servicio que soportan cada uno de los tipos de señales.

Forma de Onda	Modo	Bandas Laterales	Factor de amplitud	
			Símbolo	Valor
Híbrido	MP1	Primaria	a_0	5.123×10^{-3}
Híbrido Extendido	MP2-MP7	Primaria	a_0	5.123×10^{-3}
Totalmente digital	MP5-MP7	Primaria	a_2	1.67×10^{-2}
	MS1-MS4	Secundaria	a_4	5.123×10^{-3}
		Secundaria	a_5	3.627×10^{-3}
		Secundaria	a_6	2.567×10^{-3}
		Secundaria	a_7	1.181×10^{-3}

Tabla 3.16 Valores del factor de amplitud de bandas laterales digitales dependiendo de la forma de onda

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN NORMATIVA DE LA RADIODIFUSIÓN DIGITAL EN EL ECUADOR

4.1 INTRODUCCIÓN

Como se ha visto en los capítulos anteriores, la tecnología digital presenta una notable ventaja sobre la antigua tecnología analógica, abriendo un abanico de opciones y servicios para los usuarios.

Si deseamos que esta transición se realice de la mejor manera posible y que los nuevos servicios lleguen adecuadamente a los usuarios desde los proveedores, se debe asegurar un marco que logre regularlos adecuadamente.

Organizar un marco regulatorio adecuado, para que esto se produzca, es un reto para cada país que tome la decisión de migrar a la tecnología de radiodifusión digital. Este reto abarca desafíos tanto en el ambiente técnico-económico, como el social de la región.

Lamentablemente, hasta la fecha, nuestro país no ha tomado ninguna iniciativa de regulación sobre las nuevas tecnologías. Tampoco existe un cronograma de trabajo establecido, que guíe el proceso en los próximos años. En el mes de Enero del año 2009 se iba a realizar la primera mesa de conversación sobre el tema organizada por el CONARTEL (Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión), con algunos representantes de fabricantes, representantes de países que ya han aplicado las tecnologías a debatir, así como expertos en el tema. Finalmente esta reunión no fue realizada y se pospuso para el año 2010.

En este capítulo presentaremos la legislación vigente que rige la radiodifusión FM en el país con ciertas recomendaciones en caso de una posible adopción del

estándar propuesto en este estudio. Además se presentará el estado actual de la región en su normativa sobre radiodifusión digital, entiéndase América Latina, y algunos referentes del sector como Estados Unidos de Norteamérica, Canadá y España.

Cada uno de los estándares disponibles a la fecha presenta ventajas y desventajas que deberán ser estudiadas cuidadosamente a la hora de que el país se decida por uno de ellos. La falta de reglas claras con respecto a esta tecnología, puede llevar a una falta de inversión en este sector importante de las telecomunicaciones, perjudicando mayormente al usuario final que será privado del uso de esta nueva tecnología y los servicios y mejoras que conlleva.

4.2 SITUACIÓN REGULATORIA EN EL ECUADOR

En el Ecuador existen 4 organismos encargados de la regulación del sector de las telecomunicaciones, cada uno con su propia competencia atribuida por la ley y con sus respectivos reglamentos.

Estos organismos son el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), el Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión (CONARTEL), la Secretaria Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL), y la Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPTTEL).

Estos organismos cumplen una función específica dentro del sistema regulador de las telecomunicaciones en el país. En el Anexo B se incluye una breve explicación de las funciones y atribuciones de cada uno de estos organismos.

4.2.1 Estructura organizacional del organismo regulador

Los organismos reguladores en el Ecuador no actúan independientemente uno del otro y se complementan entre si dependiendo de sus funciones.

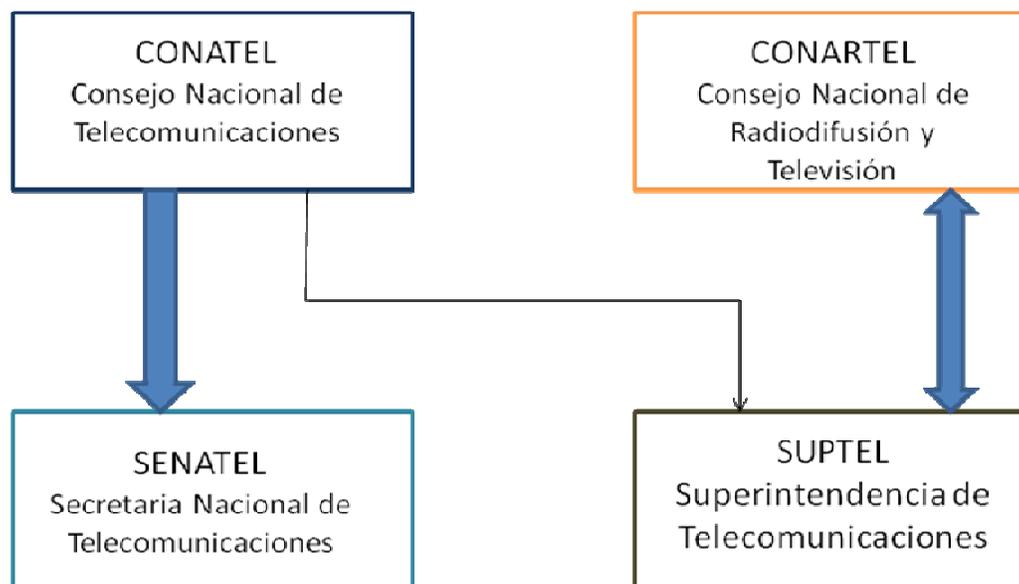


Figura 4.1 Estructura del Organismo Regulador en el País

En la Figura 4.1 podemos ver la organización del organismo regulador del Ecuador y la relación entre cada uno de los organismos que lo conforman.

4.2.2 Normativa Regulatoria

A continuación se presentara las 4 normativas específicas remitidas al tema de radiodifusión para tener una perspectiva del estado actual de estas.

Desde octubre del año 2008 se encuentra aprobada una nueva Constitución Política en el país. Por lo tanto las leyes y reglamentos descritos a continuación son vigentes hasta la fecha indicada y no están exentos de cambios dependiendo esto de la nueva Constitución.

4.2.2.1 Ley de Radiodifusión y Televisión

Esta ley establece que los canales 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. Además se indica claramente al igual que la constitución de la república que el espectro constituye un bien patrimonial y como tal su control está a cargo del estado. A través del CORNATEL, se otorgará frecuencias para radiodifusión, así como se 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 SUPTEL.

Con respecto a la concesión se establece como requisito indispensable que toda persona natural o jurídica debe ser ecuatoriana por nacimiento. Las personas jurídicas deben ser ecuatorianas y no podrán tener más del 25% de inversión extranjera, dicha concesión será, por un periodo de 10 años, de acuerdo con las disponibilidades del Plan Nacional de Distribución de Frecuencias. Esta concesión será renovable sucesivamente con el o los mismos canales y por periodos iguales, sin otro requisito que la comprobación por la SUPTEL, 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. La violación de este precepto ocasionará la nulidad de la concesión y, por consiguiente, la frecuencia revertirá automáticamente al estado y no sufrirá ningún efecto jurídico. Dicha nulidad es imprescriptible.

La presente ley en lo relacionado a los organismos de Radiodifusión y Televisión establece; que el estado ejercerá las atribuciones que le confieren esta Ley a través del CONARTEL y la SUPTEL. Indicando también que el CONARTEL reglamentará la tramitación de todos los asuntos inherentes a la aplicación de esta Ley.

En lo relacionado con las tarifas esta ley establece que las estaciones comerciales de televisión y radiodifusión están obligadas sin excepción al pago de las tarifas por concesión y utilización de frecuencias, aun cuando estuviere suspenso de funcionamiento.

En lo concerniente a la programación se establece que toda estación radiodifusora 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.

4.2.2.2 Reglamento General a la Ley de Radiodifusión y Televisión

Este reglamento especifica que los medios, sistemas o servicios de radiodifusión, se registrarán por las disposiciones de la Ley de Radiodifusión y Televisión, el Convenio Internacional de Telecomunicaciones vigente, el Reglamento General a la Ley de Radiodifusión y Televisión, los demás Reglamentos y las Normas Técnicas y Administrativas que expida el CONARTEL sobre la materia, los que tendrán el carácter de obligatorios.

Así mismo se indica que el control técnico y administrativo de las estaciones de radiodifusión y televisión están a cargo de la SUPTEL 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.

Se especifica claramente además que por ser el espectro radioeléctrico patrimonio nacional, el Estado tiene el derecho preferente a la utilización de frecuencias radioeléctricas no asignadas, para la instalación y operación de estaciones y sistemas de radiodifusión a través de la SUPTEL, reservará y asignará al Estado sin ningún otro tramite, frecuencias en las bandas destinadas a prestar este servicio público en el territorio nacional. Estas frecuencias asignadas al estado, no podrán ser asignadas en ningún caso, a personas naturales o jurídicas privadas, nacionales o extranjeras.

Lo relacionado con las concesiones, renovación, transferencia de la concesión, instalaciones, tarifas y términos de la concesión, se conservan de acuerdo con la Ley de Radiodifusión y Televisión.

4.2.2.3 La Ley Especial de Telecomunicaciones

La 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 y otros sistemas electromagnéticos.

Al igual que en la Constitución Política, se detalla y deja muy en claro que 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. Sobre la administración del espectro radioeléctrico, se especifica que las facultades de gestión, administración y control del espectro, 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 restablecerlo en caso de perturbación o irregularidad.

Así también se establece claramente que el uso de frecuencias radioeléctricas para los servicios de radiodifusión y televisión requiere 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 una nueva concesión previa y expresa. Se establece que la prestación de cualquier servicio de telecomunicaciones por medio de empresas legalmente autorizadas, está sujeta al pago de tarifas que serán reguladas en los respectivos contratos de concesión, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley.

4.2.2.4 Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones

Este 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. Dejando muy en claro el motivo u objetivo del presente reglamento.

La planificación, administración y control del uso del espectro radioeléctrico corresponde al Estado a través del CONATEL, la Secretaria 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 UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones).

También en este reglamento se esclarece que 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. Destacando que cualquier medio de radiodifusión debe necesariamente acogerse a la Ley de Radiodifusión y Televisión y el CONARTEL 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.

Lo relacionado con las concesiones, permisos, sanciones, tarifas y términos de concesiones es establecido de la misma manera que en la Ley Especial de Telecomunicaciones.

4.2.2.5 Norma Técnica Reglamentaria para radiodifusión en Frecuencia Modulada Analógica

Este reglamento establece el marco técnico que permite la asignación de canales o frecuencias radioeléctricas en el espacio supradyacente del territorio

ecuatoriano, minimizando las interferencias, de tal forma que se facilite la operación de los canales y se racionalice la utilización del espacio, de conformidad con la Constitución, recomendaciones de la UIT y realidad nacional.

Además sirve para formular planes de la adjudicación de canales y reordenar emisoras en el espectro radioeléctrico de una manera coherente y consecuente con la norma técnica.

4.3 ESTADO DE LA NORMATIVA SOBRE RADIODIFUSIÓN FM EN LA REGIÓN

En la figura 4.2 observamos un mapa del continente americano que muestra la introducción que ha tenido el estándar americano. Podemos ver que la zona andina es la menos desarrollada en este tipo de tecnología.

Estados Unidos ha adoptado el estándar y ya está en funcionamiento nacional desde hace algunos años, se muestra en color verde claro en el mapa de la figura 4.2. México y Brasil han adoptado el estándar pero su uso se lo realiza por regiones.



Figura 4.2 Situación del estándar IBOC en América²⁸

²⁸ HD RADIO DIGITAL AM & FM, Actualización en la implementación de HD Radio, John Schneider

Por ejemplo, en México el estándar es obligatorio en la zona fronteriza por lo que comparte mucha programación con la zona sur de los Estados Unidos. En el mapa estos países están en color naranja, en la figura 4.2.

Canadá y Chile se encuentran aun en etapas de pruebas con un nivel elevado de interés en el mismo. En el mapa de la figura 4.2 tienen un color verde oscuro. En Argentina y la zona del Caribe el uso del estándar aun es limitado. Su color es violeta en el mapa de la figura 4.2.

A continuación se presenta una lista de las principales naciones de América detallando como se realiza la regulación y su estado actual en la normativa, es decir los organismos reguladores y las leyes vigentes.

Se hace énfasis en la región latinoamericana ya que es importante tomar en cuenta las decisiones tomadas por estos países, ya que el seguir un mismo lineamiento facilitaría los problemas de importación de equipos y un fácil acoplamiento en las zonas fronterizas

4.3.1 Argentina

Existen dos órganos reguladores en este país. La SECOM (Secretaría de Comunicaciones) es la encargada de elaborar y ejecutar las políticas en materia de comunicaciones. Además otorga las licencias excepto en lo referido a radiodifusión, y dicta los reglamentos generales para la prestación de los servicios de telecomunicaciones, etc. La CNC (Comisión Nacional de Comunicaciones) es un organismo descentralizado y tiene a su cargo la regulación administrativa y técnica y el control. Administra el espectro radioeléctrico, ejerciendo la fiscalización de los servicios. Asiste a la SECOM en planes técnicos, calidad mínima de servicio e interconexión. Aprueba normas técnicas y homologa equipos. La normativa principal es la Ley Nacional de Telecomunicaciones y también debemos mencionar la Propuesta de Marco Regulatorio de los Sistemas de Radiodifusión de Sonido Digital Satelital/Terrestre el cual 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 radiodifusión digital satelital/terrestre así como la operación, instalación y explotación de toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, imágenes, datos y sonidos; y el uso del espectro radioeléctrico.

4.3.2 Chile

El principal organismo de este país es la Subsecretaria de Telecomunicaciones del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones y es el encargado de proponer las políticas de telecomunicaciones, pronunciarse sobre el otorgamiento de concesiones y permisos, dictar normas técnicas, administrar el espectro radioeléctrico etc.

La normativa que rige en este país es la Ley General de Telecomunicaciones la cual indica que corresponderá al Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones a través de la Subsecretaria la aplicación de esta ley y sus reglamentos, así como el control de las disposiciones legales y reglamentarias que rigen en materia de telecomunicaciones y radiodifusión sonora.

También tenemos con respecto a la radiodifusión, el Reglamento de Radiodifusión Sonora el cual regula el servicio de radiodifusión sonora, cuyas transmisiones están destinadas a la recepción libre y directa por el público en general, respecto del otorgamiento, renovación, puesta en servicio, modificación, transferencia, autorización provisoria de modificación, extinción y caducidad de las concesiones.

4.3.3 Colombia

Los organismos que rigen la normativa de las telecomunicaciones en este país son el Ministerio de Comunicaciones y la CRT (Comisión de Regulación de Telecomunicaciones), las cuales se encargan de determinar la política de telecomunicaciones.

La Ley de Telecomunicaciones es la principal normativa la cual indica que el

Gobierno Nacional, por medio del Ministerio de Comunicaciones, adoptará la política general del sector de comunicaciones y ejercerá las funciones de planeación, regulación y control de todos los servicios de dicho sector, que comprende, entre otros los servicios de dicho sector, que comprende, entre otros; los servicios de telecomunicaciones y los servicios de valor agregado.

4.3.4 Perú

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones es el encargado de fijar políticas, aprobar el Plan Nacional de Telecomunicaciones, otorgar concesiones y administrar el espectro radioeléctrico.

El OSIPTEL (Organismo de Supervisión de Inversión Privada) se encarga de mantener y promover la competencia, resolver controversias entre prestadores, fijar tarifas y cargos de interconexión.

La normativa principal que rige en Perú es la Ley de Telecomunicaciones y su reglamento general, la cual delimita la regulación de todas y cada una de las partes de las telecomunicaciones así como la radiodifusión, y los procedimientos para la otorgación de concesiones, licencias, registros y derechos para uso del espectro electromagnético, indicando que la normativa de regulación de radiodifusión digital se establecería como un anexo del presente reglamento.

4.3.5 Venezuela

El CONATEL (Comisión Nacional de Telecomunicaciones) se encarga de regular los servicios y otorgar concesiones, permisos y autorizaciones, promover inversión e innovación tecnológica y velar por el derecho de los usuarios, administrar el espectro, elaborar criterios de fijación de tarifas, etc.

La Ley Orgánica de Telecomunicaciones establece un marco legal moderno y favorable para la protección de los usuarios y operadoras de servicios de telecomunicaciones en un régimen de libre competencia. En el ámbito de

radiodifusión tenemos el Reglamento de Radiodifusión Sonora y Televisión abierta, el cual pretende establecer las normas claras de regulación de los servicios de radiodifusión sonora abierta indicando el proceso de concesión, permisos, licencias y derechos de uso del espectro radioeléctrico.

4.3.6 El estándar americano IBOC en la Región

El principal proponente de este nuevo estándar son los Estados Unidos, los cuales, a través de las empresas privadas interesadas en el medio radial, desarrollaron dicho estándar. Actualmente existen más de 1500 estaciones funcionando en este país, sin que la digitalización sea una obligación. En la Figura 4.3 podemos ver la distribución de las estaciones de radiodifusión digital en los Estados Unidos.

Una de las principales razones para el desarrollo de este estándar fue un asunto de seguridad nacional, ya que según la recomendación de la UIT, para la digitalización de las estaciones de radio, se deberá usar el estándar DAB sobre la banda L de frecuencias, y esta banda es usada por el ejército y cambiar toda esta red a otra banda sería muy costoso para el país.

Dentro del sector, existen algunos países que están usando ya el estándar IBOC por sectores. Este es el caso de México, que usa el estándar en la frontera con los Estados Unidos por el hecho de compartir público y programación con el vecino país.

La zona andina, entiéndase principalmente como los países de Venezuela, Colombia y Ecuador no han tomado aun la decisión del estándar con el cual se trabajará para aplicar esta tecnología.



Figura 4.3 Distribución de las estaciones digitales en Estados Unidos²⁹

4.4 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DEL ECUADOR

Como ya se menciona antes, el Ecuador aun no ha tomado ninguna iniciativa sobre radiodifusión digital, en lo referente a plantear una normativa fija que guie el proceso de transición analógico-digital.

El uso de determinado estándar para la transmisión de radiodifusión sonora digital no está permitido por el CONARTEL, ya que esto podría condicionar las decisiones del organismo regulador al ser el mercado el que marque las pautas en esta transición. Hay que tomar en cuenta que en los países donde ya se puede usar esta tecnología, fue por iniciativa del sector privado que se produjo la transición a la tecnología digital, es el caso de los Estados Unidos donde la propuesta partió de una agrupación de radiodifusores privados representados por la compañía iBiquity Corporation, los cuales propusieron y desarrollaron el estándar en estudio.

²⁹ HD RADIO DIGITAL AM & FM, Actualización en la implementación de HD Radio, John Schneider

De una conversación sostenida con representantes del área de Asesoría Técnica del CONARTEL en Noviembre del año 2008, se indicó que las conversaciones sobre este tema específico comenzarán a comienzos del año 2009, la cual finalmente no se realizó.

El país se encuentra retrasado con respecto a los países del sur del continente, los cuales tienen grandes avances en este tema. La región andina de Sudamérica se encuentra en situaciones similares a la del Ecuador. Viéndolo desde el punto de vista positivo, esto plantea una gran oportunidad para el país y el sector, ya que la decisión a tomar podrá tomarse en bloque, de manera conjunta y coordinada, creando así, un mayor mercado, mejorando el panorama económico tanto para consumidores como para los dueños de estaciones radiodifusoras, ya que facilitaría la importación de equipos para el sector y se podría llegar a un acuerdo con la empresa privada para la reducción de costos de las licencias en el caso específico del estándar IBOC.

En el caso de ser escogido el estándar americano como el ideal para el país, permitirá reorganizar la distribución de las frecuencias de las emisoras y agrupar varias frecuencias pertenecientes a una sola persona o compañía, liberando de esa forma un ancho de banda el cual no se disponía antes, permitiendo la incursión de nuevas radiodifusoras.

4.5 CONSIDERACIONES GENERALES PARA ESTABLECER UN MARCO REGULATORIO EFICAZ EN RADIO DIGITAL

Los puntos tratados anteriormente nos demuestran que, los costos que resulten de esta transición, son de mucha importancia a la hora de escoger el estándar a seguir. Cuando hablamos de costos, nos referimos tanto a los de los equipos receptores, como a la inversión en la compra de los nuevos equipos de transmisión que tendrán que realizar las estaciones de radiodifusión.

El segundo aspecto que debe ser observado en el momento de decidir la ruta a seguir hacia la digitalización será el del planeamiento del uso de frecuencias.

Dependiendo de la tecnología que se use, se podrá liberar o no ciertas bandas usadas actualmente. En el caso de no escoger la opción del estándar IBOC, la radiodifusión sonora FM se podría trasladar a la banda III (174–240 MHz) y L (1452–1492 MHz) siguiendo la recomendación de la UIT.

En el caso de escoger el estándar IBOC se podrá reutilizar la banda utilizada actualmente. Esta opción también brindaría la alternativa y la libertad a nuevas estaciones radiodifusoras, de utilizar los nuevos canales de audio creados por esta tecnología.

Además hay que tomar en cuenta, que el estándar IBOC aun presenta problemas de interferencia con su similar en AM, pero los demás estándares necesitan de una mayor separación que la actualmente presupuestada lo que conllevaría a una total reestructuración de esta banda.

También es importante analizar el tipo de servicios que se podrían brindar y que el organismo regulador permitiría brindar. Esto con el fin de reducir la fuga de oyentes radiofónicos causada por la radio satelital en algunos países, como el Internet y los reproductores personales. En el caso del estándar IBOC, la facilidad de brindar servicios como: pantalla para datos, informes del tiempo y el tráfico a tiempo completo o durante los horarios de mayor sintonía; noticias para nichos de audiencia y reportes informativos especializados, más la emisión simultánea en segunda lengua, entre otros.

Dentro de estos servicios también se encuentra el factor de la interactividad radiofónica. El desarrollo de la radio interactiva supone tres puntos específicos:

- la actual tecnología disponible;
- la introducción de promociones vía Web y dispositivos inalámbricos, junto con reportes de uso en tiempo real y comercio electrónico, y
- la presencia de dispositivos inalámbricos interactivos incorporados, que permitan hacer comercio electrónico instantáneo inalámbrico o en la Web.

Este, por lo tanto, es otro aspecto que debería ser abarcado dentro del proceso de normativa de esta tecnología.

Dentro de los puntos a tratar, para acordar una política de conversión se podrían definir los siguientes:

- Quiénes y cómo (gobierno, empresas privadas, ambos, demanda del mercado, etc.) definen la rapidez de la conversión de analógico a híbrido y, finalmente, a servicio de radio digital.
- Debe o no haber normas diferentes para emisoras de AM y de FM.
- Cómo se garantiza que no se genere interferencia ni se degrade la calidad del audio.
- Qué tipo de servicios de difusión de datos pueden prestar las emisoras.
- Cómo aplicar obligaciones de interés público.
- Qué tipo de codificación se requiere para cuidar la propiedad intelectual.

4.6 PERSPECTIVAS SOBRE LA DIGITALIZACIÓN DE LA RADIO Y SU NORMATIVA

El hecho es que nadie puede forzar la adopción de una nueva tecnología. En 1998, algunas entidades reguladoras de telecomunicaciones fueron optimistas al establecer 15 años como plazo de finalización para la radiodifusión analógica. Pero está visto que una transición completa a radio digital no ocurrirá en ninguna parte de la noche a la mañana.

Los marcos jurídicos nacionales que permiten la radiodifusión digital se han ido estableciendo desde mediados o fines de los 90's. Sin embargo, la transición digital fue incluida por las reguladoras nacionales europeas como un asunto central durante la Conferencia Regional de Radiocomunicaciones (RRC-04), de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), en Ginebra, Suiza, en mayo de 2004.

Durante dicho evento, Valery Timofeev, director de la oficina de

radiocomunicaciones de la UIT, señaló el que será sin duda el elemento definitorio en todo este proceso: “A los encargados de las frecuencias les entusiasma comenzar a liberar algunas partes del espectro de frecuencias, usadas en la actualidad por los sistemas de radiodifusión analógica, para otras aplicaciones que no necesariamente están dentro del servicio de radiodifusión”.

Los primeros acuerdos internacionales de gestión del espectro radioeléctrico datan de 1961, cuando el llamado Plan de Estocolmo estableció reglas básicas para una coordinación plan-nacional del uso de frecuencias.

Sin embargo, dado que la tecnología digital modificó el paisaje audiovisual de todo el planeta, muchas reguladoras nacionales prefieren hoy un enfoque más dinámico y menos estructurado. De hecho, la reunión regional acordó dos opciones para la radio digital. Una permitiría a las reguladoras definir un cronograma para la transición digital, siempre y cuando las normas de un país no interfieran con las de otro país.

La segunda opción establece el plazo para la transición entre 2028 y 2038, sin que sea necesario dar por terminada la radiodifusión analógica. En nuestro país como en América Latina, apenas comienza a discutirse el tema con seriedad.

En definitiva el tema se complica cuando el cambio analógico - digital se relaciona con la diversidad cultural, con derechos y deberes ciudadanos, participación y democracia, concentración y propiedad de los medios, desde ésta perspectiva es importante pensar: ¿Qué sistema de radiodifusión queremos, y para qué?, ¿Será posible avanzar en la superación de la brecha digital sin antes superar la brecha analógica?, ¿Qué problemas o debilidades es capaz de ayudar a superar la digitalización?

Por momentos pareciera que lo único importante es el estándar o patrón tecnológico a adoptar como norma, sin embargo existen otros aspectos a considerar que se desarrollan y concretan en función de otras decisiones, tales como la adopción del marco regulatorio y el modelo y las políticas públicas

adoptadas de transición desde lo analógico a lo digital, y su relación con los aspectos industriales y comerciales.

CAPÍTULO 5

DISEÑO Y SELECCIÓN DEL EQUIPAMIENTO PARA LA NUEVA RADIODIFUSORA DIGITAL EN BASE AL STANDARD IBOC Y SU PRESUPUESTO

5.1 INTRODUCCIÓN

Uno de los principales retos dentro de cualquier transición de tecnologías, es el ritmo que se debe llevar para que ésta beneficie al cliente. Es decir, que el cliente sea capaz de adaptarse completamente al nuevo sistema, no solo en su uso y familiarización, si no en el aspecto económico. Y el aspecto económico se vuelve un punto muy importante en lo que refiere a radiodifusión ya que es un medio de información de más fácil acceso por los bajos costos de los equipos receptores.

Por lo tanto el estándar a escoger, además de las características técnicas óptimas para el medio, deberá cumplir la característica de permitir una fácil adquisición de los equipos receptores a la mayoría de la población. Y en esto también juega un papel importante las actuales tendencias de uso de servicios de telecomunicaciones, como lo es la portabilidad.

El estándar propuesto en este estudio propone el re uso de la banda que se utiliza actualmente para la radiodifusión sonora FM, lo que facilita mucho la transición para los dueños de las estaciones emisoras, ya que permite la re utilización de algunos equipos utilizados actualmente. Esta característica también beneficia al usuario ya que la transición podrá ser de manera más paulatina.

En este capítulo se presentará los principales aspectos que se necesita abordar para proponer un ritmo de transición en el supuesto de que la tecnología propuesta sea adoptada por el país. Se propondrá los pasos a seguir en la adquisición de nuevos equipos y se presentara la disponibilidad de equipos en el

mercado a la fecha.

Finalmente se presentara el sistema propuesto final, con los equipos escogidos para esto considerando además la reutilización de equipos que ya existen en la estación.

5.2 PROPUESTA DE PERIODOS DE TIEMPO PARA LA DIGITALIZACIÓN

Una programación adecuada del conocido como “apagón analógico” en radiodifusión, es indispensable al momento de querer darle un impulso a la transición a tecnología digital. El poner límites fijos para esta transición permitirá de cierta manera presionar a los radiodifusores para trasladar sus equipos a la nueva tecnología.

Como se refirió en el capítulo 4, en el Ecuador aun no se han comenzado las conversaciones correspondientes a la tecnología que será adoptada por el país. Sería recomendable dar un plazo al organismo regulador para abordar y dar por terminado estas conversaciones. Un tiempo prudencial seria dar un tiempo de 5 años, para plantear un estándar para radiodifusión digital FM.

Durante este periodo se deberá llegar a un acuerdo con todos los sectores relacionados, además de un arreglo con la marca dueña de los derechos del estándar americano IBOC si éste fuera el escogido en última instancia. Caso contrario la transición se verá perjudicada y se perderá tiempo valioso en el proceso.

Dentro de este proceso se deberá realizar también la planificación de la rapidez de la transición entre las diferentes formas de transmisión, además de definir políticas de ayuda económica al sector por parte del gobierno para que la transición se brinde al usuario de la mejor manera posible.

A partir de fijar la elección del estándar de radiodifusión digital, sería

recomendable plantear periodos en los cuales las estaciones deberán implementar sus transmisiones de manera hibrida en un principio, y de manera totalmente digital finalmente. Es recomendable que todo este proceso se lleve a cabo en los próximos 25 años, para estar acorde con lo propuesto en la Conferencia Regional de Radiocomunicaciones (RRC-04), de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), en Ginebra, Suiza, en mayo de 2004 como se indica en el Capitulo 4.

5.3 ANÁLISIS DEL TIPO DE SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN A UTILIZARSE

Como se indicó en el Capitulo 1, existen 3 tipos de amplificación que se pueden utilizar dependiendo de la potencia que se usa y de los equipos disponibles por la estación, además de los planes a futuro.

Es por esto que la implementación de la radio digital FM sobre el estándar IBOC nos permite varias opciones.

Si la estación es de baja potencia, puede utilizarse la amplificación común o combinación en bajo nivel como también se la conoce. La otra opción es el uso de diferentes antenas, siendo esta opción óptima para transmisiones de mediana y alta potencia. Finalmente la tercera opción ideal para altas potencias de transmisión para estaciones que no les es posible adaptar una nueva antena, es la combinación de alto nivel, la cual presenta también una variación, la cual es la combinación a nivel medio.

Para escoger de manera correcta el sistema que nos permitirá ingresar a la digitalización a través de este estándar de la manera más económica sin la necesidad de bloquearnos el paso a los nuevos servicios posibles en un futuro como el multicasting y la transmisión de texto y datos, se deben tomar las siguientes consideraciones:

- Potencia operativa
- Espacio disponible en la caseta y en la torre
- Costos de implementación
- Costos operativos
- Compatibilidad de sus equipos existentes con la HD Radio
- Prepararse para el “multicasting”
- Prepararse para la transmisión de texto y datos

En este punto analizaremos los requerimientos de potencia de la estación en estudio y la mejor configuración del sistema de transmisión dependiendo de este aspecto específico.

5.3.1 Combinación en bajo nivel

En este modo de transmisión se combina la señal FM analógica con la señal de radio digital a nivel del excitador, para amplificar las dos señales con un solo amplificador, y transmitiendo por una sola antena. Se considera este sistema ideal para estaciones con una potencia de transmisión menor a 14 kW. En el caso que este sistema sea el escogido se deberán adquirir principalmente los siguientes equipos:

- Un excitador para la generación de la señal analógica y digital
- Un generador de señales que podría estar ubicado en la estación o en la cabina de transmisión
- Un procesador de audio nuevo para el audio digital

Las ventajas que presenta este sistema son las siguientes

- Se necesita menos espacio en la cabina de transmisión
- Menos consumo de energía
- Menos calor en la cabina de transmisión
- La instalación es más fácil
- La HD Radio y FM analógico se transmiten por la misma antena, asegurando que la relación de intensidad de campo HD Radio/FM se mantiene en cualquier parte del área de cobertura.

La principal desventaja de la Combinación en Baja Potencia es que presenta un solo punto de falla para la HD Radio tanto como el FM analógico. Es decir que la redundancia en el sistema es mínima.

En la figura 5.1 se muestra un esquema de la organización de los equipos en la combinación de bajo nivel.

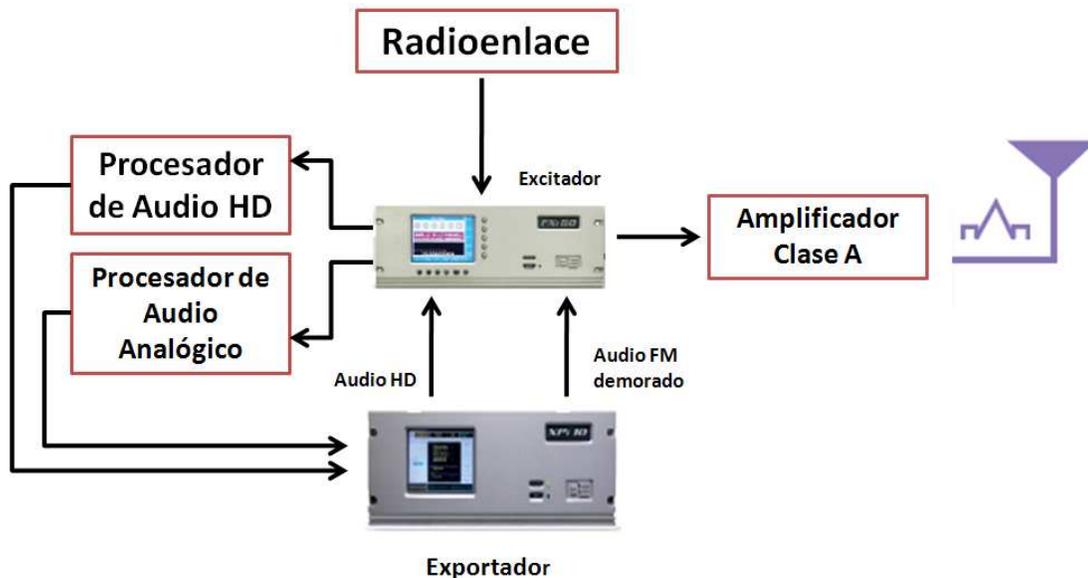


Figura 5.1 Esquema de la organización de equipos de transmisión según la combinación en bajo nivel

5.3.2 Antenas distintas

Toda la señal digital se genera de manera separada y se transmite por una antena separada de la principal analógica, o usando la misma con una polarización diferente. El uso de este sistema se puede considerar si la potencia de transmisión es mayor a 14 kW.

En el caso de escoger este sistema para la transmisión de radio digital se deberá implementar las siguientes mejoras:

- Un excitador digital nuevo
- Un generador de señales para generar la señal digital en los estudios o en la planta transmisora

- Un transmisor de estado sólido, operando en el modo lineal de la clase AB.
- Una antena nueva, nuevos elementos.
- Opcionalmente, medidores de potencia para monitorear la relación entre las potencias de los transmisores analógico y digital.
- Un procesador de audio nuevo para la HD Radio.

Entre las ventajas que presenta este tipo de configuración están las siguientes:

- El transmisor de HD Radio es de baja potencia (20 dB debajo de la potencia del transmisor analógico).
- No tiene la pérdida de un combinador³⁰.
- Posiblemente es el sistema de menor costo.
- Una instalación de transmisión más simple.
- Se puede mantener el uso del transmisor analógico existente sin la necesidad de potencia de reserva adicional.
- La operación más eficiente del transmisor existente.
- Más redundancia en caso de una falla, debido a sus sistemas de transmisión analógica y digital separadas.

Entre las principales desventajas se pueden considerar las siguientes:

- Podría ser necesario compensar las diferencias de ganancia (si hay) entre las antenas analógica y digital.
- Los patrones de radiación de las dos antenas pueden ser diferentes, especialmente si las antenas no tienen la misma ganancia.

En la figura 5.2 podemos ver la estructura de los equipos utilizados en este sistema.

³⁰El combinador produce pérdidas de potencia, un 10% del amplificador analógico, y un 90% del amplificador digital.

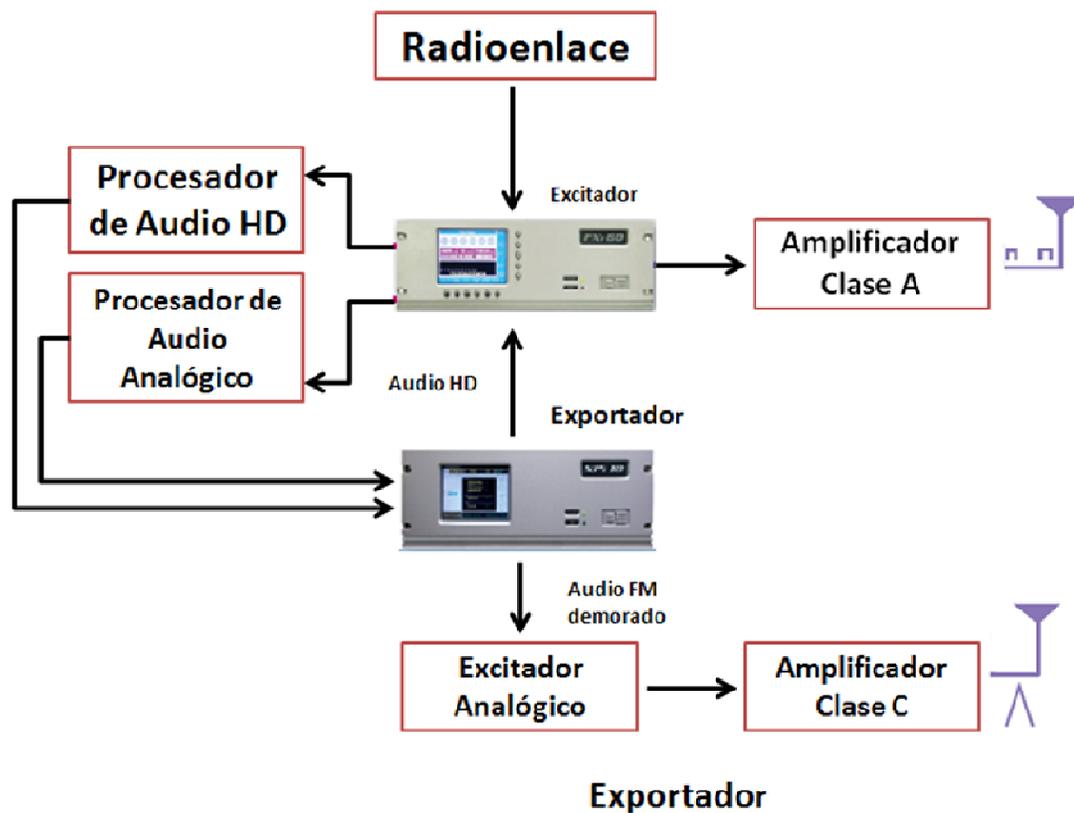


Figura 5.2 Esquema de la organización de equipos de transmisión usando antenas separadas

5.3.3 Combinación en Alto Nivel

La señal analógica y la señal digital son amplificadas por separado y combinadas por medio de un combinador híbrido de 10 dB a la entrada de la antena. El uso de este sistema se puede considerar para potencias de transmisión mayores a 14 kW, además que los transmisores tengan la reserva de potencia para compensar las pérdidas generadas en el combinador, es decir 10% extra de la potencia de transmisión. También es una opción muy útil para sistemas de radiodifusión ya existentes ya que se puede aprovechar todo el sistema de transmisión analógica mientras se realice el apagón analógico.

Si se escoge este sistema se necesitarán los siguientes equipos:

- Un excitador digital nuevo.

- Un generador de señales para instalarse en los estudios o en el sitio de transmisión
- Un transmisor de estado sólido clase AB.
- Un combinador híbrido de 10 dB, una línea de transmisión y una carga de rechazo para combinar la señal antes de la antena.
- Modificación del sistema de ventilación y/o enfriamiento para agregar la capacidad necesaria para disipar el calor adicional del segundo transmisor y de la carga.
- Procesador de audio nuevo para el transmisor de HD Radio.
- Opcionalmente, medidores de potencia distintas para monitorear la relación de potencia entre los transmisores analógico y digital.

Entre las ventajas que presenta esta configuración podemos indicar las siguientes:

- Puede quedarse con su transmisor analógico existente.
- Los sistemas analógico y digital operan por separado, dando mayor redundancia en caso de una falla.

Entre las desventajas que presenta esta configuración podemos indicar las siguientes:

- El transmisor existente de FM analógico debe ser capaz de dar 10% de potencia adicional.
- Se requiere una carga de rechazo grande debido a las pérdidas en el combinador (se disipa 90% de la potencia digital más 10% de la potencia analógica en la carga).
- Requiere un combinador externo (típicamente de 10 dB).

En la figura 5.3 podemos ver la estructura de los equipos utilizados en este sistema.

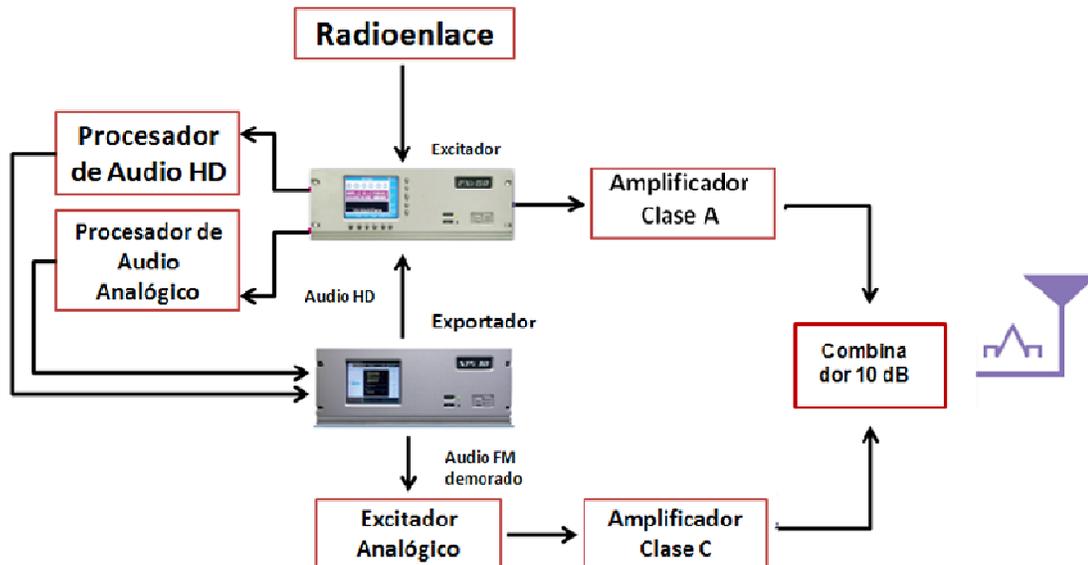


Figura 5.3 Esquema de la organización de equipos de transmisión usando combinación de alto nivel

5.3.4 Sistema a utilizarse y justificación del mismo

El tipo de sistema a utilizarse en la transición analógica digital es muy importante ya que permitirá establecer sobre todo el sistema de transmisión ideal dependiendo de la potencia de transmisión utilizada.

En la figura 5.4 se muestra un esquema mediante el cual podemos determinar cuál es el sistema idóneo dependiendo de la potencia utilizada.

Aun así, es importante darse cuenta que este esquema es muy útil para estaciones totalmente nuevas, que desean adoptar un sistema capaz de migrar a la tecnología digital. Este no es nuestro caso, ya que deseamos optimizar el uso de los equipos que ya se encuentran en funcionamiento.

La opción de una antena separada para transmitir la señal digital es inviable desde el punto de vista técnico y económico. Primeramente, la torre que ocupa la radiodifusora, se encuentra copada por otras antenas como la de la televisora y

otros servicios. Es decir que no hay espacio suficiente para implementar una nueva antena para la señal digital.

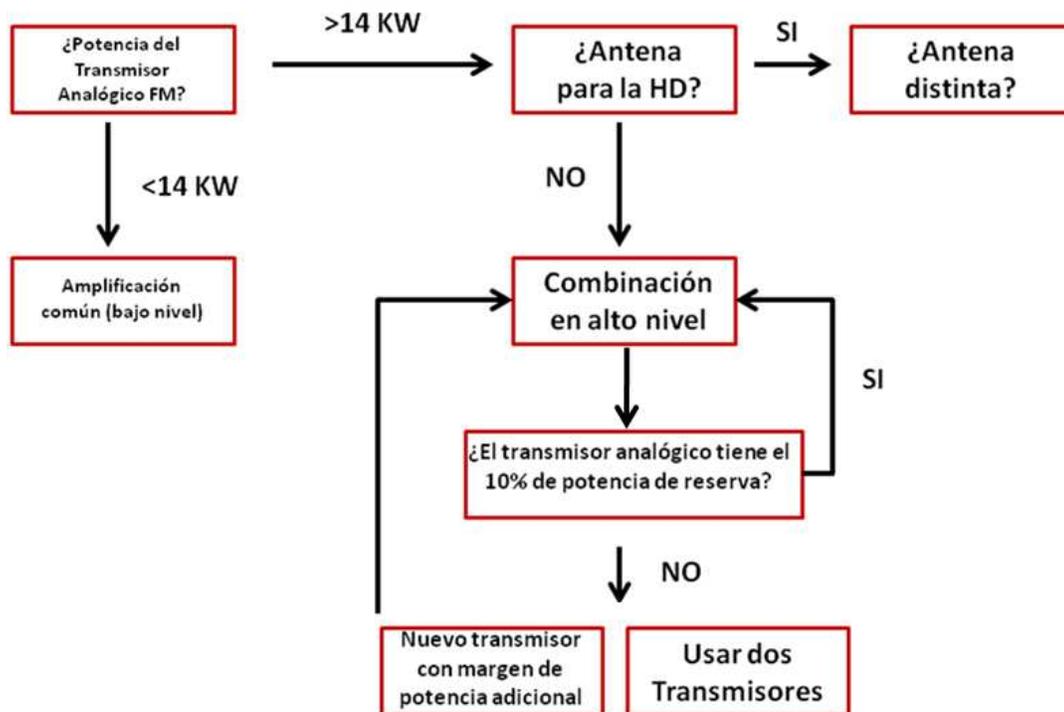


Figura 5.4 Esquema de decisiones a tomar en la implementación de radio digital³¹

También se debe observar que la antena utilizada para la transmisión analógica quedaría inhabilitada después de que se pase a una transmisión meramente digital. Desde el punto de vista económico, este método implicaría un gasto extra comparado a los otros dos modelos propuestos.

El siguiente método que podemos desechar sería el de la combinación de alto nivel. Principalmente por el aumento de consumo de potencia, ya que el combinador disipa el 90% de la potencia digital y el 10% de la potencia analógica. Además se necesitaría un equipo nuevo, de un tamaño similar al amplificador clase C actualmente utilizado, para lo que la cabina de transmisión no brinda el

³¹ GUÍA DE LOS MÉTODOS DE COMBINACIÓN PARA LA HD RADIO FM, Broadcast Electronics

espacio necesario. Finalmente, presenta el gasto adicional correspondiente al combinador.

Finalmente, tenemos el método de combinación en bajo nivel, el cual se presenta como el método óptimo por sus múltiples ventajas, tanto técnicas como económicas. Primeramente reduce el consumo de potencia, al no tener que implementar un transmisor adicional, si no que el antiguo analógico es remplazado por un nuevo apto para las transmisiones digitales, a la misma potencia.

En comparación con los otros métodos, no se debe realizar una adquisición extra de equipos ni de antenas. Además, podemos ver que este método coincide con la recomendación del método que toma en cuenta la potencia de transmisión, el cual indica que si la potencia de transmisión está por debajo de los 14 K Watts se deberá escoger el método de combinación a bajo nivel.

5.4 CONSIDERACIONES INICIALES PARA EL DISEÑO

En este subcapítulo se procederá a describir y recomendar los equipos necesarios para la transición analógica digital, así como a describir el sistema escogido. Hay que tomar en cuenta que el sistema de radio difusión se compone de tres segmentos, la cabina de programación, el enlace estudio-cabina de transmisión, y la cabina de transmisión.

5.4.1 Selección de la marca a utilizarse

Es conocido que dentro de cualquier implementación técnica de un nuevo proyecto, un punto muy importante a tener en cuenta es la marca de los equipos y la posibilidad que tiene esta de facilitarnos la solución completa.

Es por esto, que en este subcapítulo, realizaremos la comparación de tres marcas principales, avaladas por iBiquity para la fabricación de sus equipos³².

Estas tres marcas son las siguientes:

- BE Broadcast Electronics
- Harris
- Nautel

A continuación se describirá los equipos que nos brindan estas marcas y las facilidades que nos pueden dar como representatividad en el país, garantías, servicio técnico etc.

5.4.1.1 Broadcast Electronics (BE)

Entre los equipos que tenemos disponibles en esta marca son los siguientes:

- Sistemas de estudio digital (software de programación)
- Soluciones para envío de datos
- Soluciones de STL digitales
- Soluciones de Transmisión (Amplificadores, exportadores, excitadores, importadores)

Como podemos ver, esta marca nos facilita casi todo el subsistema de transmisión, y también nos facilita mucho de los equipos del estudio y software de programación.

Además, posee representación en el país, lo que facilita la compra y gestión de garantías.

5.4.1.2 Harris

Entre los equipos que tenemos disponibles en esta marca son los siguientes:

- Sistemas de estudio digital (software de programación)

³² http://www.ibiquity.com/broadcasters/quality_implementation/broadcast_equipment_manufacturers

- Soluciones de STL digitales
- Soluciones de Transmisión (Amplificadores, exportadores, excitadores, importadores)

A diferencia de la marca BE, la marca Harris no nos facilita la solución del STL, pero si las demás. También tiene representación en el país.

5.4.1.3 Nautel

Entre los equipos que tenemos disponibles en esta marca son los siguientes:

- Soluciones de Transmisión (Amplificadores, exportadores, excitadores, importadores)

Esta marca solo nos presta las soluciones del subsistema de transmisión y no de los equipos para la estación ni software de programación. Además no posee representación legal en el país.

5.4.1.4 Selección de la marca y justificación

En lo planteado en los numerales anteriores podemos darnos cuenta que la marca que nos ofrece más facilidades tanto en equipos como garantías y servicio técnico es Broadcast Electronics (BE).

La mayoría de equipos están avalados por la compañía iBiquity formando la Alianza HD integrada por los principales fabricantes de transmisores y receptores. Es por esto que la mayoría de los equipos fabricados cumplen con ciertas características técnicas específicas, que hacen que estos equipos sean similares. Apenas varía el rendimiento de cada uno.

Lamentablemente no se pudo tener acceso a la lista de precios de estas tres compañías, solamente a la de BE, por lo que no se puede hacer un análisis comparativo de precios.

Se va a escoger las soluciones que nos facilita la marca BE por su completa línea de equipos que nos brindara mayor compatibilidad entre estos equipos y por las facilidades que plantea la representación de la marca por parte de una empresa que además de ser una de las impulsadoras de la digitalización en el país, es la empresa encargada de dar mantenimiento a la mayoría de estaciones del sector de Manabí.

5.4.2 Descripción general del sistema propuesto

El sistema de subtransmisión escogido fue el de amplificación en combinación a bajo nivel. La marca escogida para la implementación posee los equipos necesarios para este tipo de transmisiones. A continuación se describirá el sistema propuesto.

5.4.2.1 Diagrama de bloques del sistema a utilizarse en el estudio

El estudio se encuentra compuesto por los siguientes bloques:

- Generadores de audio
- Procesador de Audio
- Exportador
- Transmisor del STL
- Switch
- Importador

En la figura 5.5 podemos ver un diagrama de bloques que describe el sistema a utilizarse en el estudio y la forma en la que se interconectan cada uno de estos bloques.

A continuación se describirán las características de estos equipos y cómo funcionan e interactúan con el resto de componentes.

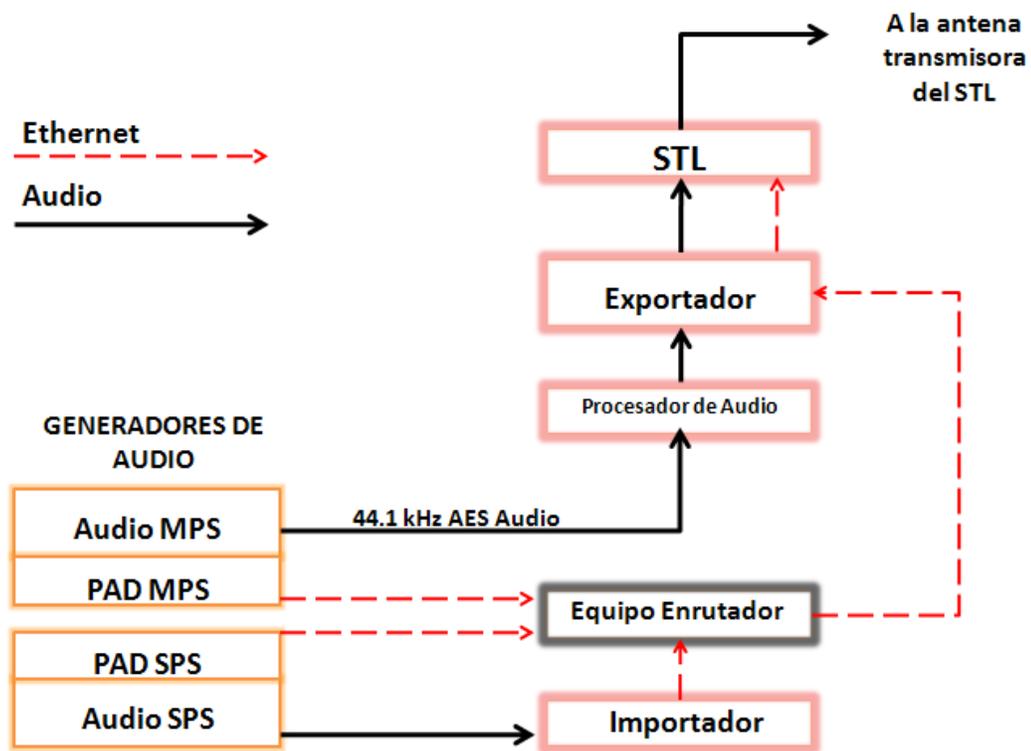


Figura 5.5 Diagrama de el sistema propuesto de estudio digital

5.4.2.1.1 Generador de audio

Este bloque está compuesto por la computadora con su tarjeta de sonido respectiva, en la que corre el software que permite la organización de la programación y genera la información asociada al programa (PAD).

En el caso de que se quiera dar un tratamiento especial a la señal de audio generada por el computador, se utilizará una consola digital que además permita seleccionar de manera manual la salida de audio generada por otras fuentes como micrófonos extra o llamadas telefónicas.

Este bloque está compuesto además por otros computadores de iguales características al principal, que servirán para organizar la programación secundaria. Estos pueden ser uno o dos, dependiendo de los requerimientos de la radiodifusora.

Es decir que se necesitará un computador adicional para administrar dicha programación secundaria.

En el caso de haber más de un bloque generador de audio, se deberá diferenciar entre el principal y los secundarios. El principal alimentará directamente al EXPORTADOR mediante salidas de audio AES. Los equipos secundarios alimentarán al IMPORTADOR mediante salidas de audio AES.

Además cada uno de estos equipos estará encargado de generar la información asociada al programa (PAD), la cual será enviada junto con la información generada por el IMPORTADOR, hacia el EXPORTADOR a través de una conexión ETHERNET.

El computador deberá soportar el sistema operativo Windows XP service pack 2 y para esto debe cumplir con estas características básicas:

- Procesador de 300 MHz o superior velocidad de reloj.
- Memoria RAM de 128 MB o superior.
- Disco Duro de 1.5 GB de espacio disponible.
- Adaptador y monitor de vídeo Super VGA (800 × 600) o de mayor resolución
- Unidad de CD-ROM o DVD
- Teclado y mouse de Microsoft o dispositivo señalador compatible

Además, para poder adaptar la tarjeta de sonido necesaria se debe contar con al menos 1 puerto PCIe en la tarjeta madre del equipo. Tanto el equipo encargado de organizar la programación primaria como la secundaria, deben cumplir con estas características. Se necesita además que el equipo cuente con una tarjeta de red de 100 Mbps mínimo para conectarse con los equipos encargados de organizar la programación asociada al programa.

La tarjeta de sonido que va a ser adaptada a estos computadores deberá conectarse a través de un puerto PCIe y cumplir con una frecuencia de muestreo

de mínimo 44.1 kHz para cumplir con los requerimientos del estándar. Además sus salidas deben ser digitales de preferencia AES.

Finalmente el software utilizado por los equipos para organizar la programación debe poder generar datos asociados al programa y tener la capacidad de sincronizarse con los equipos generadores de audio secundarios mediante conexiones Ethernet.

5.4.2.1.2 Procesador de audio

El procesador de audio estará encargado de procesar la señal de audio del programa principal (MPS). En el caso de que se comience con una transmisión híbrida, se deberá tener un procesador para el audio digital y otro para el audio analógico.

El procesador de audio recibirá la señal de audio desde el generador de audio principal y entregará la señal procesada mediante conexiones de audio AES al EXPORTADOR.

Los canales secundarios no necesitan este procesamiento ya que la tasa de datos es menor que el canal principal y este procedimiento lo realiza el IMPORTADOR a nivel digital.

El equipo debe contar con entradas tanto digitales como analógicas y salidas digitales. Además debe ser compatible con la frecuencia de muestreo de 44.1 kHz.

5.4.2.1.3 Exportador

La función principal del EXPORTADOR es recibir el audio desde el IMPORTADOR y el procesador de audio principal, y comprimir el audio y los datos para ser enviados hacia al EXCITADOR en la cabina de transmisión.

Debe contar con puertos AES para recibir la señal desde el procesador de audio principal y entradas Gigabit Ethernet para conectarse con los demás equipos de la transmisión como el IMPORTADOR.

El EXPORTADOR será el encargado principal de la configuración de transmisión y la distribución del ancho de banda en cada una de estas configuraciones, híbrida y totalmente digital, estas entradas Ethernet permitirán sincronizarse con el resto de equipos involucrados para hacer efectivas cada una de las configuraciones programadas desde este equipo.

5.4.2.1.4 Transmisor del STL

Es el encargado de enviar la señal comprimida de audio y datos del exportador hacia la cabina de transmisión. Debe ser digital y compatible con el ancho de banda necesario para enviar la cantidad de datos necesaria.

Ya que se piensa implementar el canal principal digital más un canal digital secundario de menor calidad ambos estéreo, se necesitará la siguiente velocidad de datos:

2 canales (estéreo) * 44.1 kHz (frecuencia de muestreo audio principal) * 16 bits (resolución de audio digital) = 1.4112 Mbps

2 canales (estéreo) * 32 kHz (frecuencia de muestreo audio secundario) * 16 bits (resolución de audio digital) = 1.024 Mbps

300 kbps (velocidad necesaria para servicios suplementarios)

1.67 factor de guarda para conexiones TCP recomendado por la marca seleccionada

Velocidad de datos mínimo requerido = 1.67 * (1.4112 Mbps + 1.024 Mbps + 0.3 Mbps) = 4.5 Mbps

Es decir que se necesitara un enlace que nos brinde mínimo una velocidad de datos de 4,5 Mbps sin considerar un posible enlace entre la estación y la cabina de transmisión dedicado a otros fines, como una línea telefónica dedicada en la cabina de transmisión o acceso a internet desde la cabina de transmisión para actualizar el software de los equipos que se encuentran aquí.

5.4.2.1.5 Equipo Enrutador

Este equipo será el encargado de enrutar los datos entre el generador de audio y el exportador. Un equipo enrutador de 4 puertos Ethernet y uno inalámbrico sería suficiente en caso de una ampliación de la estación. Por la naturaleza de los equipos encargados del procesamiento de los datos en el sistema de transmisión, los puertos Ethernet deberán tener la capacidad de 1 Gbps.

5.4.2.1.6 Importador

Este equipo envía programación suplementaria hacia el EXCITADOR. Permite también configurar los servicios de audio suplementario y de datos asociados al programa. Se encarga de poner en un solo canal todos los datos y enviarlos vía Ethernet hacia el EXPORTADOR por medio del equipo enrutador.

Este equipo solo será necesario en caso de que se aumente el número de canales de programación secundaria o que se quiera transmitir información asociada al programa principal.

5.4.2.2 Diagrama de bloques del sistema a utilizarse en la cabina de transmisión

La cabina de transmisión se encuentra compuesta por los siguientes bloques:

Receptor de STL

Excitador

Amplificador de potencia

En la figura 5.6 podemos ver un diagrama de bloques que describe el sistema a utilizarse en la cabina de transmisión y la forma en la que se interconectan cada uno de estos bloques.

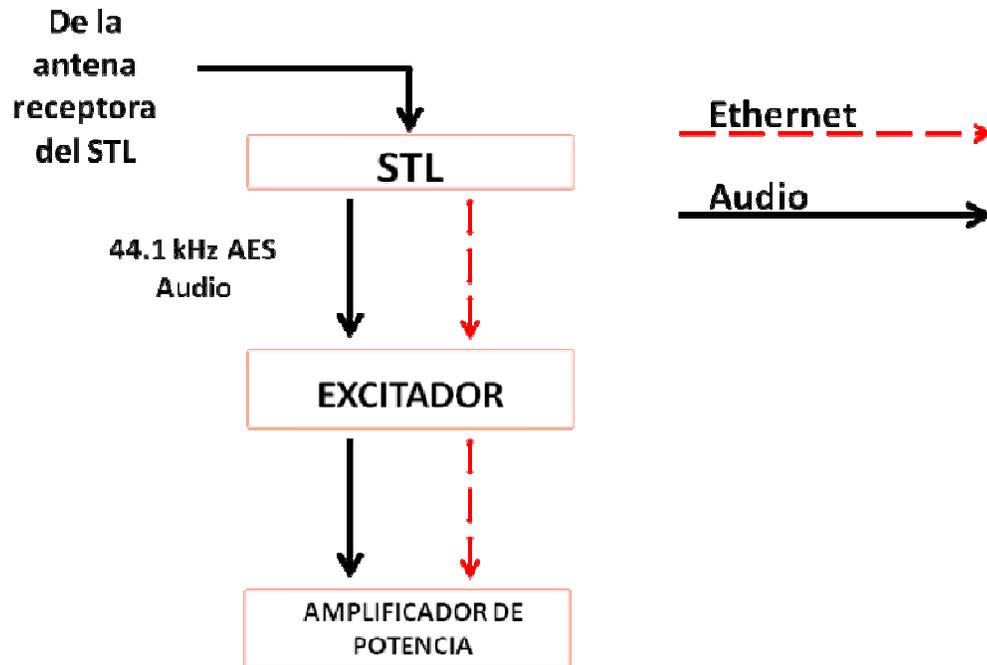


Figura 5.6 Diagrama de el sistema propuesto de la cabina de transmisión digital

A continuación se describirán estos bloques o equipos.

5.4.2.2.1 Receptor del STL

Este equipo es el encargado de recibir la señal enviada por el transmisor del STL y enviar esta señal a través de conexiones AES y Ethernet al EXCITADOR. Al igual que el transmisor del STL debe ser digital y cumplir con los requerimientos de ancho de banda necesarios.

5.4.2.2.2 Excitador

Este equipo es el encargado de modular la señal para su transmisión.

Debe permitir regular la señal dependiendo de los servicios requeridos. Se conecta a través de conexiones AES y Ethernet con el amplificador de potencia.

5.4.2.2.3 Amplificador de potencia

Es el encargado de amplificar la señal a los niveles requeridos de transmisión. Además debe permitir intercambiar los modos de transmisión entre FM Híbrido y totalmente digital. Ya que se escogió la amplificación en combinación en bajo nivel y considerando la potencia de transmisión actualmente utilizada por la estación Líder 90.1, se necesitará un equipo con un mínimo de potencia de transmisión de 3 kW en el modo híbrido. Es importante aclarar que cuando se realice la transición a transmisiones totalmente digitales, solo se necesitará una potencia de transmisión correspondiente al 1 % de la potencia necesaria en el modo analógico, es decir, en nuestro caso se necesitará aproximadamente 25 w, potencia que podría ser suministrada sin problema por el equipo excitador solamente. Es por esto, que es recomendable que se sacrifique la potencia del transmisor, para no incurrir en un gasto innecesario con un equipo que no nos servirá en el momento de las transmisiones digitales. En nuestro caso específico procuraremos escoger un equipo de menor potencia que la requerida para generar un ahorro en la adquisición de este equipo. Ya que, al pasar a la tecnología totalmente digital, la potencia necesaria para tener el mismo alcance sería del 1% de la potencia necesaria en las transmisiones analógicas, el adquirir un equipo de una potencia menor a la necesaria nos permitirá ahorrar una cantidad considerable, considerando que este equipo solo nos servirá para los años de la transición analógica-digital.

5.4.3 Selección de los equipos para el sistema planteado

Tomando en cuenta las recomendaciones realizadas en este capítulo, se procederá a escoger los equipos que formarán parte del sistema propuesto. Como ya se mencionó la marca escogida fue Broadcast Electronics. La implementación se realizará en dos etapas. La primera se realizará el momento que sea aprobado

el estándar americano IBOC para transmisiones híbridas. La segunda será efectuada cuando se realice el apagón analógico de la radiodifusión FM.

A continuación se describirá cada uno de los equipos seleccionados para cada una de estas etapas.

5.4.3.1 Generador de audio

Este bloque estará conformado por 3 equipos principalmente:

- PC
- Tarjeta de sonido
- Software organizador de programación

5.4.3.1.1 PC

Actualmente se encuentra en uso un PC que cumple con las características necesarias para satisfacer las necesidades de la estación. Se necesitara un PC nuevo para cuando se quiera aumentar canales de programación secundarias. Un PC genérico con una mainboard con un puerto PCI será suficiente para los requerimientos del sistema.

5.4.3.1.2 Tarjeta de sonido

La tarjeta escogida fue la ASI 5111 diseñada específicamente para el propósito de radiodifusión digital, que cumple con las especificaciones necesarias para el sistema, como un muestreo desde 11 kHz hasta 96 kHz, una salida y entrada tanto analógica como digital la cual puede ser seleccionada desde software.

En la figura 5.7 podemos ver una imagen de cómo luce la tarjeta de sonido mencionada.



Figura 5.7 Tarjeta de sonido ASI 5111³³

Esta tarjeta será usada tanto en el generador de audio principal como en el secundario, además del importador. En el anexo C podemos ver toda la información técnica de esta tarjeta.

5.4.3.1.3 Software organizador de programación

El software escogido es el recomendado por la marca seleccionada, BE Broadcast Electronics. AudioVault permite organizar la programación de manera eficaz, genera la información asociada al programa y además permite sincronizar los diferentes generadores de audio de manera que puedan compartir información. AudioVault viene en dos versiones, Vault² y VaultEXPRESS siendo la seleccionada la segunda ya que es la óptima para estaciones pequeñas.

En la figura 5.8 podemos ver una vista del interfaz de VaultEXPRESS. En el anexo D podemos ver más información sobre este software y las facilidades que nos brinda. Cabe recalcar que este será utilizado en los dos generadores de audio que serán usados al momento de que comiencen las transmisiones totalmente digitales y en el IMPORTADOR.

³³ LINEAR PCI AUDIO ADAPTER ASI5111, Audioscience



Figura 5.8 Vista de la interfaz de VaultEXPRESS de Broadcast Electronics³⁴

5.4.3.1.4 Consola digital de audio

Considerando que solo 3 canales son utilizados, la consola a escogerse no debe tener más de 4 canales disponibles para las transmisiones.

Se proponen 3 equipos compatibles:

La CONSOLA DE RADIO DBA MIX 52 la cual posee 5 canales estéreo de entrada y una entrada para una línea telefónica. Cada canal posee controles de ganancia y un parlante incorporados para monitor de previo. Sus salidas son PGM y tiene un costo de 885 dólares³⁵.

La DBA S300 on Air la cual posee 5 canales dedicados para aplicaciones específicas. Las salidas al igual que el equipo anterior son del PGM y tiene un costo de 650 dólares³⁶.

Finalmente, la StereoMixer® Digital de Harris. Posee 3 entradas digitales y una analógica mono. Además posee 3 entradas digitales del tipo AES. Tiene un costo de 680 dólares³⁷.

³⁴ AUDIOVAULT IS YOUR BEST CHOICE FOR RADIO AUTOMATION, AudioVault

³⁵ http://www.pcstudioarg.com.ar/consola-de-radio-dba-mix-52_325.html?id=129

³⁶ <http://dbasys.com/consolas%20on%20air-2005.htm>

³⁷ <http://broadcastengineering.com/audio/Harris-StereoMixer-Digital-20050404/>

Analizando las tres propuestas podemos ver que la más barata es la DBA S300 on Air pero su diferencia es pequeña con la StereoMixer de Harris, y a pesar que este último tiene menos entradas, las entradas del DBA S300 son para servicios específicos lo que limita su uso, además de tener conectores que no son los mismos que las consolas y el resto de equipos escogidos, por lo que compromete una dificultad a la hora de acoplar distintos conectores, lo que podría ocasionar una pérdida en la calidad de la señal. Este problema de compatibilidad de conectores también la presenta la DBA MIX 52, además de ser la más cara.

La opción escogida es la StereoMixer® Digital de Harris. Las razones para escoger este equipo son las siguientes:

- Representatividad de la marca en el país
- Equipo compacto que cumple con las necesidades específicas de la estación
- Compatibilidad con la tecnología digital

Más información la podremos encontrar en el Anexo E. En la figura 5.9 podemos ver como luce esta consola. Este equipo será utilizado en el procesador de audio principal desde antes que inicien las transmisiones híbridas. Un segundo equipo idéntico se utilizará para el procesador de audio secundario cuando comiencen las transmisiones totalmente digitales.



Figura 5.9 StereoMixer digital de Harris³⁸

³⁸ STEREO MIXER DIGITAL PR&E PRODUCTS, Harris

5.4.3.2 Procesador de audio

Este equipo es el encargado de procesar la señal de audio que proviene de los generadores de audio. Se debe considerar un equipo que permita en un futuro la transición digital, es decir que además de permitirnos el procesamiento de la señal analógica nos permita también procesar la señal digital y además nos facilite la evolución al “multicasting”.

Se proponen 3 equipos compatibles:

El Omega_FM – All-Digital FM-Airchain Processor de Inovonics el cual posee entradas y salidas digitales. Solo permite el procesamiento de la señal digital. El precio es de 9800 dólares³⁹.

El Omnia-6EXi de Omnia posee entradas y salidas tanto digitales como analógicas. Permite procesar al mismo tiempo una señal analógica como una señal digital. Presenta una interfaz por medio de un touch panel lo cual facilita su configuración. El precio es de 14200 dólares⁴⁰.

El OPTIMOD FM 8500 de ORBAN posee entradas y salidas tanto analógicas como digitales y permite procesar una señal analógica y una digital por separado. El precio es de 13900 dólares⁴¹.

De las tres soluciones presentadas la menos recomendable es la primera, el Omega_FM – All-Digital FM-Airchain Processor ya que a pesar de tener el mejor precio, no permite procesar señales analógicas, por lo que tendríamos que utilizar un procesador analógico extra que a mas de resultar caro, presentaría mayores problemas de sincronismo entre la señal analógica y la digital en la transmisión híbrida.

³⁹ <http://www.inovon.com/?a=2&s=1&i=5>

⁴⁰ <http://www.omniaaudio.com/o6hdfm/>

⁴¹ <http://www.orban.com/products/radio/fm/8500/>

Las dos opciones restantes tienen características parecidas, en donde el OPTIMOD 8500 tiene la ventaja de ser mas barato y ser de una marca que ya ha sido probada por la empresa interesada.

La solución escogida es el equipo OPTIMOD FM 8500 de marca ORBAN. Este procesador de audio cumple con la tasa de muestreo necesario para la calidad digital (44.1 kHz). Además puede utilizarse como procesador tanto de la señal analógica como de la digital al mismo tiempo haciéndolo ideal para el “simulcast”. Posee una salida analógica y 2 digitales.

Una línea de retardo permite retardar la salida analógica procesada de FM hasta 8.12 segundos. El retardo puede ser ajustado para adaptar las rutas analógicas y digitales en un sistema de radio HD, eliminando la necesidad de utilizar la línea de retardo incorporada en el excitador Radio HD, y permitiendo al codificador estéreo interno del 8500.

Los amplificadores de salida permiten conectar más de 30 metros de cable coaxial sin que se produzca ninguna degradación audible. Todas las entradas, salidas y conexiones de alimentación están rigurosamente protegidas contra RFI.

Las razones para escoger este equipo son las siguientes:

- Experiencia positiva con la marca del equipo
- Permite la facilidad de “simulcast” utilizando un solo equipo
- Compatibilidad con la tecnología digital

En la figura 5.10 podemos ver como luce este equipo.

Más información la podremos encontrar en el Anexo F.

5.4.3.3 Exportador

El exportador escogido es el recomendado por la marca seleccionada, BE Broadcast Electronics. El XPi 10 es la solución de exportador que nos brinda la marca.



**Figura 5.10 Procesador de audio digital/analógico
OPTIMOD FM 8500 de ORBAN⁴²**

Este equipo permite configurar los tipos de servicio de manera detallada, es decir definir el ancho de banda específico de cada canal lógico dependiendo del tipo de servicio escogido. Además permite ingresar mensajes PAD predeterminados y fijos como el nombre de la estación. Este equipo estará definido por una dirección IP brindada por la empresa fabricante, que permitirá, además de la comunicación con el resto de equipos, su configuración a través de cualquier computador conectado a la red LAN de la compañía o a través del internet con la configuración correcta de la puerta de enlace.

En la figura 5.11 podemos ver una imagen que muestra como luce el equipo mencionado. En el Anexo G tenemos la información técnica de este equipo.



Figura 5.11 Exportador XPi 10 de Broadcast Electronics⁴³

⁴² OPTIMOD-FM 8500, Orban CRL

⁴³ XPi 10 HD RADIO DATA EXPORTER AND ENCODER, Broadcast Electronics

5.4.3.4 Equipo enrutador

El equipo utilizado será un Switch de 5 puertos Ethernet y uno inalámbrico de marca NETGEAR. Este permitirá interconectar tanto los equipos generadores de audio como el exportador, importador y STL. Un puerto será inalámbrico para permitir una fácil conexión de nuevos equipos de la estación, ya que en vez de cablear las instalaciones de la estación para poder conectar a la red un nuevo equipo, este se podrá conectar de manera inalámbrica desde cualquier punto de dichas instalaciones. En la figura 5.12 podemos ver una imagen de cómo luce este equipo. En el Anexo H se presenta la información técnica de este equipo.



Figura 5.12 Switch NETGEAR⁴⁴

5.4.3.5 Importador

El equipo seleccionado será la solución que nos brinda la marca seleccionada. El importador de datos IDi 20 es capaz de manejar hasta 2 canales de programación extra dependiendo de la cantidad de tarjetas de sonido que se adapten. En este caso la tarjeta de sonido utilizada será la descrita en el numeral 5.4.4.1.2. Este equipo permitirá configurar los servicios de canales extra de programación y los datos generados por el sistema. El equipo tendrá una dirección IP que le permitirá comunicarse con los otros equipos del sistema.

En la figura 5.13 podemos ver una imagen de cómo luce el equipo. En el anexo I se incluye más información técnica del equipo.

⁴⁴ RANGEMAX NEXT WIRELESS-N ROUTER-GIGABIT EDITION, Datasheet, Netgear



Figura 5.13 Importador de datos IDi 20 de Broadcast Electronics⁴⁵

5.4.3.6 Equipos del STL

El equipo escogido será el recomendado por la marca. El Big Pipe STL System unido con el BP100 Multiplexer permitirá cumplir la función del enlace estudio-transmisor. El BP100 Multiplexer nos permitirá preparar la señal de audio sin compresión para el sistema de radio enlace y el ancho de banda necesario para los servicios extra. El equipo tendrá una dirección IP que le permitirá comunicarse con el resto de equipos. La transmisión se puede configurar por modos dependiendo del servicio y la compresión que se desee. Estas posibles configuraciones se muestran en el Anexo M.

El Big Pipe STL System se encargará meramente del enlace a realizarse. En la figura 5.14 podemos ver una imagen de cómo lucen los equipos transmisores y en la figura 5.15 una imagen de cómo lucen los equipos receptores. En el Anexo J se incluye la información técnica de este equipo.



Figura 5.14 Equipos Transmisores del STL de Broadcast Electronics⁴⁶

⁴⁵ IDi 20 HD RADIO DATA IMPORTER, Broadcast Electronics



Figura 5.15 Equipos Receptores del STL de Broadcast Electronics⁴⁷

5.4.3.7 Excitador

El equipo seleccionado es el recomendado por la marca escogida para este diseño. El Excitador XPi 250 será el encargado de modular la señal tanto FM como digital con sus servicios suplementarios en el caso de transmisiones híbridas, o totalmente digitales cuando esto sea necesario. Este equipo estará definido por una dirección IP dentro de la red LAN de los equipos mencionados anteriormente. En la figura 5.16 podemos ver una imagen de cómo luce este equipo. En el anexo K podemos ver más datos técnicos sobre este equipo.



Figura 5.16 Excitador FXi 250 de Broadcast Electronics⁴⁸

⁴⁶ BIG PIPE LT HIGH BANDWIDTH STL LINK FOR RADIO, Broadcast Electronics

⁴⁷ BIG PIPE LT HIGH BANDWIDTH STL LINK FOR RADIO, Broadcast Electronics

⁴⁸ FXi 250 AND FXi 60 FM ANALOG AND HD RADIO EXCITERS, Broadcast Electronics

5.4.3.8 Amplificador de Potencia

El equipo a utilizar será la solución prestada por la marca seleccionada. El amplificador de potencia FMi 201 se encargará de amplificar la señal modulada para su correcta transmisión. Además permitirá intercambiar entre transmisiones FM analógicas, híbridas o totalmente digitales cada una con los niveles de potencia requeridos. En transmisiones híbridas permitirá potencias de 2100 W, y de 875 W en transmisiones totalmente digitales.

Además de ser totalmente compatible con los equipos anteriormente descritos, este cuenta con racks para montar tanto el exportador como el excitador. En nuestro caso solo se montara el excitador ya que el exportador ira en el estudio. En la figura 5.17 podemos ver una imagen de cómo luce el equipo mencionado. En el anexo L tenemos la información técnica del equipo.



**Figura 5.17 Amplificador de potencia
FMi 201 de Broadcast Electronics⁴⁹**

⁴⁹ FMi SERIES TRANSMITTERS SOLID STATE FM+HD RADIO TRANSMITTERS, Broadcast Electronics

5.5 CONEXIONES Y CONFIGURACIONES BÁSICAS DE LOS EQUIPOS

A continuación se describirá las conexiones y configuraciones básicas para poder comenzar las transmisiones. Cabe recalcar que la diferencia entre el sistema híbrido y el totalmente digital desde el punto de vista de conexiones, es solo un generador de audio adicional para transmisiones digitales.

5.5.1 Conexiones de los equipos

En la figura 5.18 podemos ver un esquema de las conexiones básicas entre los equipos del estudio.

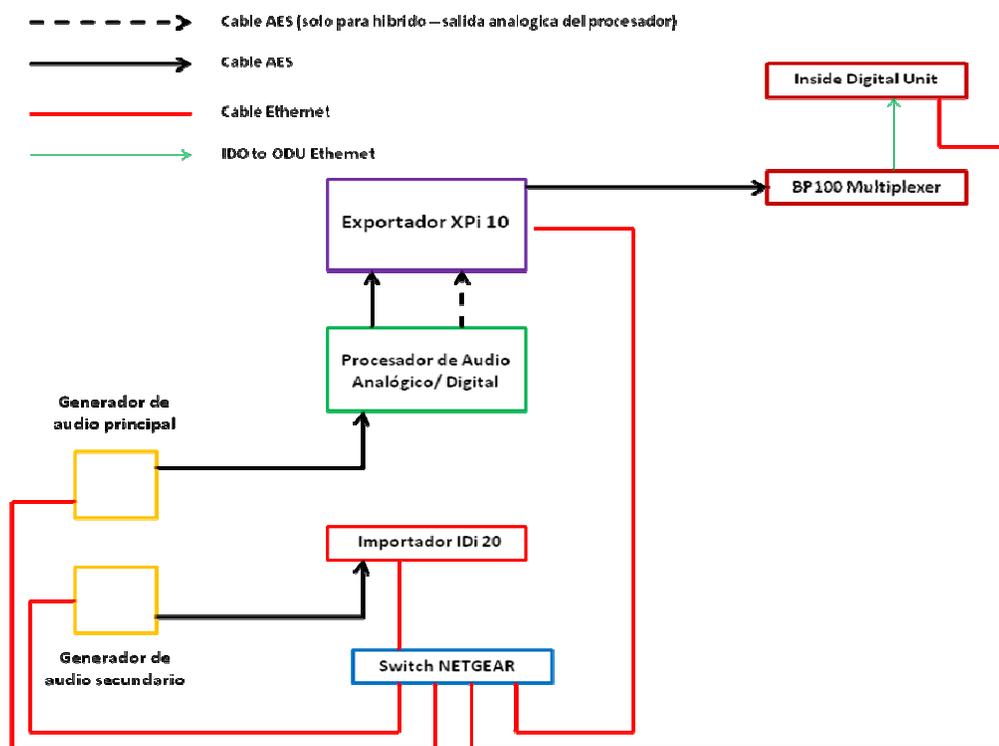


Figura 5.18 Esquema de las conexiones básicas de los equipos del estudio

El generador de audio principal conformado por el software organizador de la programación se conecta al procesador de audio mediante un cable AES digital.

Además se conecta mediante un cable Ethernet categoría 6 al Switch NETGEAR el cual se encarga de enviar su información de configuración al importador de datos IDi 20. Esta conexión con el importador es solo de referencia ya que ningún dato de audio del generador principal es pasado al exportador a través del importador. Aun así, la información concerniente a los datos asociados al programa si es enviada al importador.

El generador de audio secundario (el cual solo se habilita en el caso de transmisiones totalmente digitales) se conecta con un cable AES digital al importador el cual debe tener una tarjeta ASI 5111 para realizar la adquisición del audio. La información asociada al programa es enviada a través de una conexión Ethernet categoría 6. La información del audio secundario mas la información asociada al programa de ambos generadores de audio es sincronizada dependiendo del servicio configurado en el importador. Esta información es enviada a través de una conexión Ethernet al exportador. El exportador recibe la información digital tanto del importador a través del switch, como del procesador de audio. Este se encarga de configurar el ancho de banda para cada servicio dependiendo del modo escogido, aunque esto también se puede hacer manualmente, es decir se puede aumentar el ancho de banda de uno de los canales en detrimento del ancho de banda de otro canal.

La señal generada por el exportador es enviada al Multiplexer BP100 el cual se encargará de preparar la señal de audio y datos para ser enviada al equipo de radio enlace, de tal manera que el audio no pierda calidad. Los datos generados por este equipo son finalmente enviados al equipo de radio a través de una conexión Ethernet con conectores especiales que vienen con el equipo, el cual modulará la señal en la banda de los 5.4GHz. Esta señal es enviada a través de una antena que viene con el equipo, la cual puede ser adaptada a una antena de mayor ganancia.

A continuación se describirán las conexiones necesarias en la cabina de transmisión. En la figura 5.19 se puede ver un diagrama de bloques con las conexiones básicas de los equipos de la cabina de transmisión.

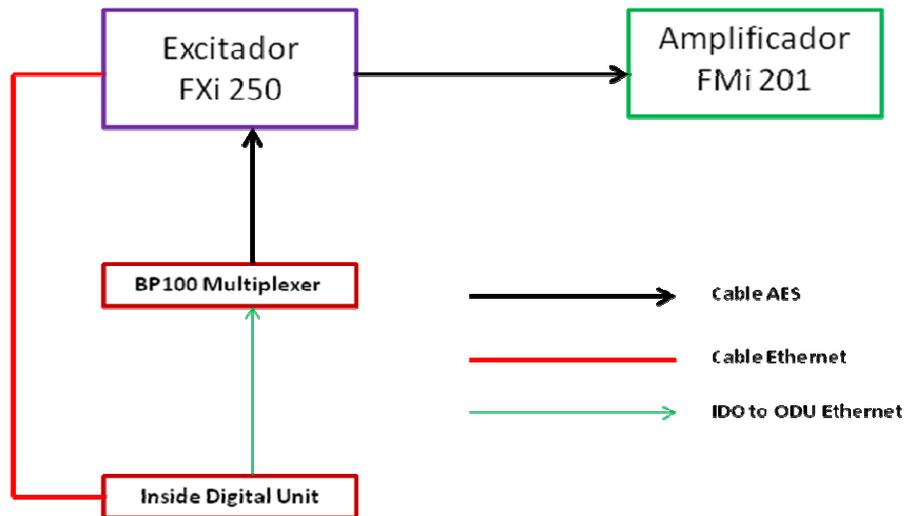


Figura 5.19 Esquema de las conexiones básicas de los equipos del estudio

La señal llega a través de la antena receptora del radio enlace, que puede ser la que viene incluida en el equipo o en la que se adapte a esta. Esta señal es recibida por el equipo de radio receptor y después de ser demodulada a banda base es enviada a través de una conexión especial que viene con el equipo hacia el BP100 Multiplexer que ahora cumple la función de demultiplexor. La señal de salida de este equipo es enviada a través de una conexión AES digital hacia el Excitador FXi el cual se encarga de modular a la frecuencia requerida por la estación. Además el excitador está conectado por una conexión Ethernet al equipo de radio, para que se pueda sincronizar con el exportador. La señal del Excitador se envía al sistema de amplificación de potencia para que la señal sea amplificada para su transmisión.

En la figura 5.20 se presenta la conexión de los equipos más críticos y se especifican las conexiones necesarias. La conexión AC se refiere a la conexión entre el exportador y el procesador de audio. Esta es una conexión de audio digital a través de un cable AES con sus conectores XLR. Tanto A como C son conectores XLR hembras. La conexión BD y HF es opcional dependiendo del tipo de configuración que se use y es de las mismas características que la AC. El conector G es un conector XLR y recibe la señal enviada por el generador de

audio. Una descripción con mayor detalle de los conectores usados se presenta en el ANEXO N.

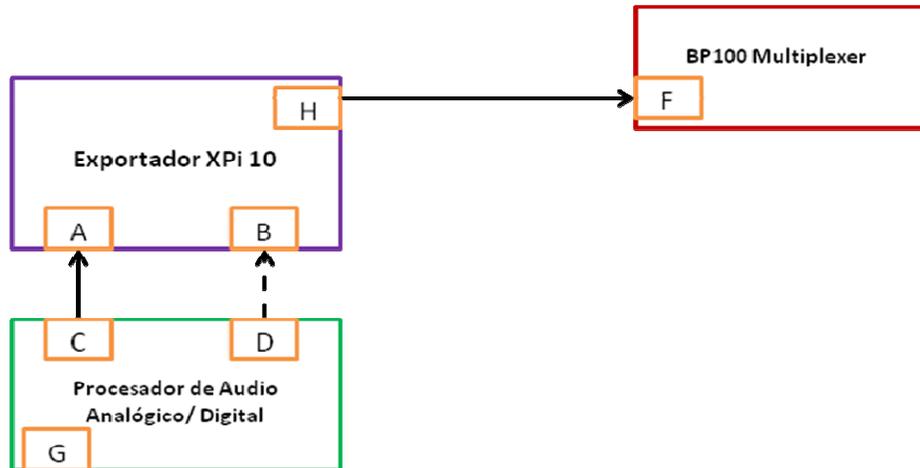


Figura 5.20 Esquema de las conexiones básicas de los equipos del estudio

5.6 ANÁLISIS DEL ALCANCE DE LA ESTACIÓN

Con la potencia propuesta en este diseño, el alcance no se verá gravemente afectado. En la Figura 5.21 se muestra el alcance de la estación con una potencia de 2500 W a la izquierda y con la potencia reducida de 2100 W a la derecha. La zona roja representa la zona de cobertura principal, la amarilla y verde representa la zona de cobertura secundaria y la zona de tonos azules, representa los sectores donde la señal es más que defectuosa.

Esta consideración es aplicable a la zona de cobertura digital ya que en el modo híbrido, la transmisión será analógica y digital. Cuando se pase al modo totalmente digital, la potencia necesaria para tener este mismo alcance será de 21 W.

El equipo excitador genera una potencia de hasta 250 W por lo que con solo este equipo se cubrirá la misma zona actual. El alcance puede ser mejorado elevando la potencia de este equipo. Aun así, habría que considerar primero el tipo de concesiones y los límites de potencia que el organismo regulador facilite. En la

Figura 5.22 se muestra el alcance de la estación usando la potencia máxima del excitador, es decir 250 W.

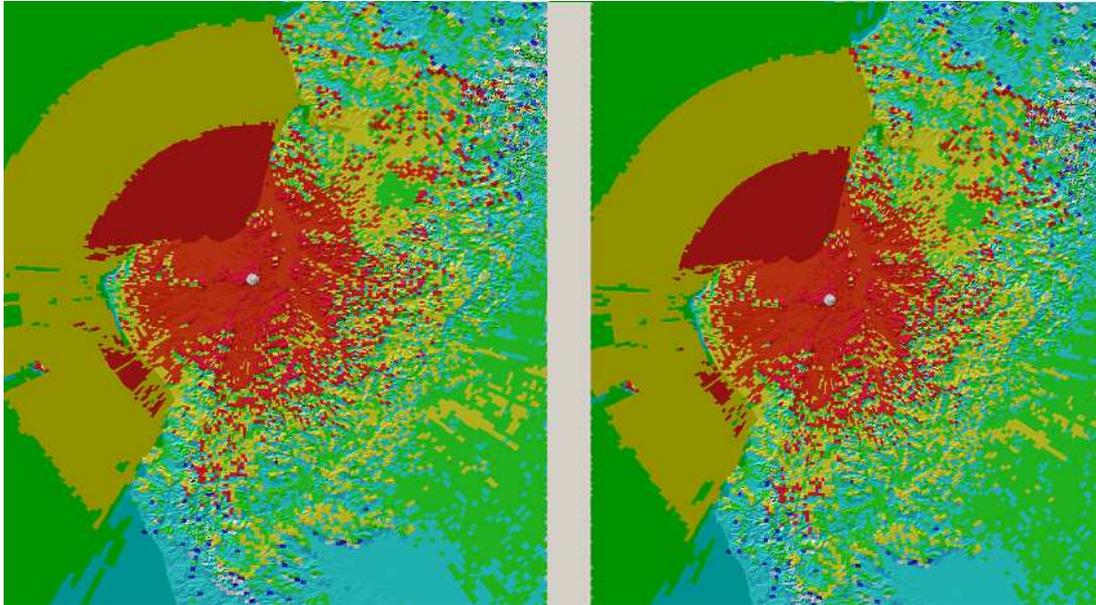


Figura 5.21 Comparación del alcance de la estación con una potencia de transmisión de 2500 W y 2100 W

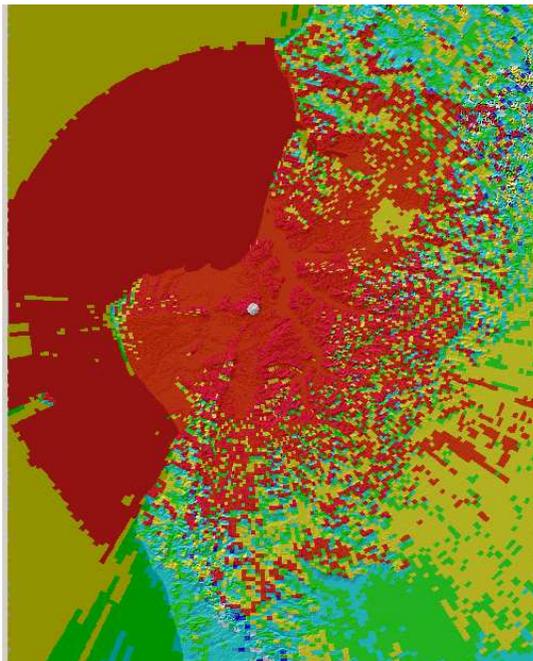


Figura 5.22 Alcance de la estación en el modo totalmente digital usando una potencia de 250 W

5.7 PRESENTACIÓN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

Los costos de implementación se refieren tanto a los precios de los equipos a adquirir, como de los costos de instalación y los costos anuales de mantenimiento básicos de la estación.

En la tabla 5.2 se presentan los detalles de las inversiones que deben ser realizadas y en qué tiempo.

Para efecto de calcular el valor presente de las inversiones que se realizarán después de la primera inversión, se definirá con un tiempo de 5 años el segundo periodo de inversión o ETAPA 1, y como de 10 años el tercer periodo de inversión o ETAPA 2.

Además se toman periodos de 5 años para evaluar las inversiones necesarias para los pagos del mantenimiento de los equipos, el cual comenzará a partir de la ETAPA 1. Se consideró una tasa de interés del 10% y se despreció la inflación y depreciación para dichos cálculos. El valor del 10% se tomo de datos de la Superintendencia de Bancos del Ecuador actualizados de la tasa de interes de la cartera comercial⁵⁰.

El valor correspondiente a diseño, en la Tabla 5.2, se lo estimó después de consultar a ingenieros de la rama de las telecomunicaciones. Lo que corresponde a el rubro de mantenimiento, se lo estimo después de consultar a una de las principales empresas en brindar servicios de este tipo.

⁵⁰ http://www.superban.gov.ec/practg/sbs_index?vp_art_id=65&vp_tip=2

	VALOR PRESENTE	Años en que se realizan las inversiones						
		0	5	10	15	20	25	30
Consola Stereo Mixer	\$ 340,00	\$ 340,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Consola Stereo Mixer	\$ 131,08	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 340,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Procesador OPTIMOD	\$ 13.900,00	\$ 13.900,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Tarjeta ASI 5111	\$ 341,51	\$ 0,00	\$ 550,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Tarjeta ASI 5111	\$ 212,05	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 550,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Tarjeta ASI 5111	\$ 212,05	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 550,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Importador iDi 20	\$ 385,54	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 1.000,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Big Pipe STL	\$ 9.313,82	\$ 0,00	\$ 15.000,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Excitador Fxi 250 + Exportador Xpi 10 + Transmisor Fmi 201	\$ 36.634,36	\$ 0,00	\$ 59.000,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Switch RangeMax	\$ 80,72	\$ 0,00	\$ 130,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
CPU Generico	\$ 96,39	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 250,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Instalacion	\$ 2.794,15	\$ 0,00	\$ 4.500,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Diseño	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Mantenimiento	\$ 13.847,75	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
Materiales	\$ 200,65	\$ 100,00	\$ 100,00	\$ 100,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
TOTAL	\$ 88.490,06	\$ 24.340,00	\$ 79.280,00	\$ 17.790,00	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00

Tabla 5.1 Inversiones necesarias para la implementación del diseño propuesto

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo se pudo llegar a algunas conclusiones acerca del estándar sobre el que se sustentó el diseño planteado. A continuación se enumeraran las conclusiones más importantes.

- El sistema IBOC FM se muestra en la actualidad como el sistema idóneo para la migración de las estaciones de radiodifusión sonora que trabajan en la banda de ondas métricas (frecuencia modulada) a un sistema digital. Permite transmitir conjuntamente la señal analógica y la digital en la canalización atribuida a la señal analógica. La migración de los sistemas analógicos de modulación de frecuencia (FM) es fácil ya que no requiere nuevos recursos de espectro radioeléctrico para la radio digital.
- Desde el punto de vista técnico, así como el comercial, se puede concluir que el estándar americano IBOC sobre el cual se sustentó el diseño de la estación radiodifusora, es un estándar conveniente. Comenzando por el tipo de modulación utilizada como lo es COFDM, que permite un número elevado de subportadoras en una ancho de banda reducido como lo es el dedicado a cada estación FM. Además la forma en la que administra los servicios y modos de operación lo hace un estándar muy flexible desde el punto de vista comercial, ya que permitirá a cada uno de los radiodifusores elegir de que manera quieran abordar esta nueva tecnología.
- Una de las conclusiones que arrojó este estudio, fue que aún falta mucho por hacer en el país, desde el punto de vista normativo. No se le ha prestado la atención necesaria a este medio de comunicación muy

difundido en nuestro país, lo que podría ocasionar quedar en desventaja con nuestros vecinos de la región latinoamericana, y por ende, perder la oportunidad de realizar proyectos conjuntos con dichos países, perdiendo así posibles ventajas económicas.

- La radiodifusora Radio Líder 90.1 FM, a pesar de ser una estación con mucho tiempo en la región, aún es manejada de manera anti técnica. Se pudo comprobar que los equipos encargados del procesamiento del audio de la estación son equipos antiguos en contraste con el procesador de audio utilizado de tecnología digital. De esta manera lo único que se logra es desaprovechar la capacidad del equipo digital. Además las soluciones implementadas han sido del tipo parche, que aunque es mucho más barato, disminuye la prestancia de los equipos utilizados y por ende su tiempo de vida.
- Un punto importante en el diseño de este tipo de sistemas es la proyección de la cobertura y la potencia necesaria para alcanzarla. A partir de una buena elección de estas características, el resto del sistema se presenta bien definido y estandarizado, es así que para los equipos como exportadores, excitadores e importadores de datos, las compañías fabricantes solo presentan una alternativa.
- La falta de información sobre los sistemas completos que brindan las marcas como sus respectivos costos influyó en la opción escogida finalmente para la implementación de éste tipo de sistema. Teniendo más información de este tipo permitirá escoger de una mejor manera el sistema a aplicarse.
- Es necesario contratar una empresa con experiencia en el medio para que se encargue del mantenimiento de la estación durante los primeros años de la transición hasta que la plantilla de técnicos de la estación adquiera experiencia en dicha labor.

6.2 RECOMENDACIONES

Las recomendaciones realizadas a partir de la experiencia adquirida en este trabajo son las siguientes:

- Se debería iniciar a más tardar este año (2009) las conversaciones y los análisis necesarios para que el organismo regulador tome una decisión dentro de los próximos 2 años sobre el estándar a utilizarse para la transición analógica digital. Para esto es importante que los sectores interesados en dicha actualización, entre ellos los radiodifusores y radioescuchas, presionen al organismo regulador (CONARTEL), ya que son los únicos perjudicados al no poder acceder a una tecnología que ya está disponible en el mercado y ha superado todas las pruebas necesarias.
- Si los cambios de las estaciones del país a un formato digital no se realiza en un tiempo corto, este tipo de transmisiones corren el riesgo sucumbir frente a las facilidades que presentan otros sistemas de comunicaciones como Internet. Aun así, la radio FM como tal aun presenta ventajas claras frente a otros medios como su gratuidad y el costo de los receptores
- A pesar de que este no fue un estudio comparativo entre los diferentes estándares disponibles para radiodifusión digital, no está de más la recomendación del estándar americano IBOC, ya que después de su análisis desde el punto de vista técnico y de servicios que permite prestar, ha demostrado ser un estándar que permitirá optimizar el uso de la banda utilizada para radiodifusión FM en el país, y permitirá llevar a los radioescuchas, a más de una mejor calidad del sonido recibido, una variedad de servicios y prestaciones de datos.
- Es necesario, que en el momento que sea posible las transmisiones híbridas, y que se deba escoger un amplificador de potencia para las nuevas transmisiones, se sacrifique la potencia de transmisión del sistema híbrido ya que, cuando finalmente se adopten las transmisiones totalmente

digitales, la potencia necesaria será muy pequeña para cubrir el alcance deseado. Si hemos escogido un transmisor con demasiada potencia, puede que el nivel mínimo de potencia para transmisiones digitales de éste, sea excesivo para las concesiones que se den en ese momento.

- Se recomienda realizar un análisis de las interferencias que pueda causar el enlace estudio-transmisor ya que los equipos que presentan las marcas presentadas en este Proyecto de Titulación trabajan en la banda de los 2,4 GHz, siendo esta banda muy utilizada por otros sistemas de telecomunicaciones actualmente.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1]

[http://www.nautel.com/Resources/Docs/Presentations/IBOC%20Networking%20\(Apr%2018%2006\)%20PRINT.pps](http://www.nautel.com/Resources/Docs/Presentations/IBOC%20Networking%20(Apr%2018%2006)%20PRINT.pps)

[2]

[www.nautel.com/Resources/Docs/Whitepapers/8 FCC FM Specs.pdf](http://www.nautel.com/Resources/Docs/Whitepapers/8_FCC_FM_Specs.pdf)

[3]

http://www.nprlabs.org/apre/PREC2007_VirtualNotebook/17_HDRadioTranslatorImplementation/BaconPhillipsLarcanTranslators.pdf

[4]

www.nautel.com/lboc.pdf

[5]

www.nt.uni-saarland.de/education/SeminarSS05/Intro.pdf

[6]

Ley especial de telecomunicaciones

[7]

LEY DE RADIODIFUSIÓN Y TELEVISIÓN

[8]

NORMA TÉCNICA REGLAMENTARIA PARA RADIODIFUSIÓN EN FRECUENCIA MODULADA ANALÓGICA

[9]

REGLAMENTO GENERAL A LA LEY DE RADIODIFUSIÓN Y TELEVISIÓN

[10]

CONSTITUCIÓN DEL ECUADOR

[11]

<http://neutron.ing.ucv.ve/comunicaciones/Asignaturas/DifusionMultimedia/Tareas%202007-1/trabajoRadiodifusion%20en%20Venezuela.doc>

[12]

<http://www.puxaki.com.br/procurar.php?inicio=180&proximo=3261&tipobusca=contenha&palavras=coit&categoria=qualquer&chave=48B86351&powered=0>

[13]

<http://www.rt-a.com/67/67.htm>

[14]

<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/servlet/conexion.ArtFrtGoo?cveart=16008915>

[15]

http://www.bdcast.com/fgal/general/BE_EXTRA_NAB_EditionSpanish_BCE_GEN.pdf

[16]

<http://www.wikipedia.com>

[17]

www.hd-radio.biz/i/pdfs/Conversion_Requirements.pdf

[18]

www.cirt.com.mx/tecnologia_abril2003.html

[19]

bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/536/3/T10453**CAP4.pdf**

[20]

www.auri-sa-cv.com/pdf/John%20Schneider/HD%20Radio%20-%20AURI%2025-06-08.pdf

[21]

www.bdcast.com/fgal/general/HDRadioCombGuideSpan_2007_BCEGEN.pdf

[22]

www.cfc.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=1082&Itemid=158

[23]

www.rtve.es/drm/doc/introduccion_sistema_drm.pdf

[24]

webs.uvigo.es/servicios/biblioteca/uit/rec/BS/R-REC-BS.1514-1-200210-**!!!PDF-S.pdf**

[25]

www.periodismo.uchile.cl/archivos/tesis_radio.pdf

[26]

Powerline Communications, Klaus Dostert, pag. 299-309