

**Análisis de la Viabilidad Técnica para la Implementación del Estándar DRM de Radiodifusión Sonora en Colombia.**



**IVÁN DARIO GUERRERO GUERRERO  
JHON EDWIN ORDOÑEZ**

*Universidad del Cauca*  
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
Departamento de Telecomunicaciones  
Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones – GNTT  
Gestión Integrada de Redes, Servicios y Arquitecturas de  
Telecomunicaciones  
Popayán, Febrero 2011

**Análisis de la Viabilidad Técnica para la Implementación del Estándar DRM de Radiodifusión Sonora en Colombia.**



**IVÁN DARIO GUERRERO GUERRERO  
JHON EDWIN ORDOÑEZ**

Trabajo de Grado presentado como requisito para obtener el Título de Ingeniero en  
Electrónica y Telecomunicaciones

**Director  
I.E. JENNY CUANTINDIOY IMBACHI**

*Universidad del Cauca*  
**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
Departamento de Telecomunicaciones  
Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones – GNTT  
Gestión Integrada de Redes, Servicios y Arquitecturas de  
Telecomunicaciones  
Popayán, Febrero 2011**

## **Nota de Aceptación**

Los Directores y el Jurado han leído el presente documento, han escuchado la sustentación del mismo por sus autores y lo encuentran satisfactorio.

---

**JENNY CUANTINDIOY IMBACHI**  
**Director**

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

Popayán, Febrero 18 de 2011

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este triunfo primero a Dios, por ser mi amigo, mi fortaleza, darme todo lo que tengo y no dejarme caer nunca.

A mis padres, Ángela Patricia y Jorge Ernesto, gracias por ser los mejores padres del mundo, gracias por la educación que me han dado y enseñarme los valores de la vida, por su ejemplo de lucha y honestidad, gracias por estar y ser mi pilar de apoyo cada una de las veces que sentí que no podía, por ser mi alegría, no tengo palabras para agradecer todo lo que hacen por mí y viéndolos hoy logro entender lo que significa el amor de unos padres como ustedes a sus hijos. Nada de esto sería posible sin ustedes.

También le dedico este triunfo a mi hermano, Jorge Andrés por la confianza y el apoyo que han contribuido positivamente en mi vida.

A mi abuelito Héctor Guerrero Apraez por creer en mí, por su amor, confianza, compañía, conocimiento, por sus grandes valores, por todo lo que me enseñaste, por eso y mucho más quisiera que estuvieras aquí para celebrar este triunfo contigo y poderte dar las gracias, pero sé que en el cielo está celebrando este logro conmigo.

A mis abuelitas Martha Cecilia y Chavita, por estar en cada momento de mi vida en el cual he necesitado de sus sabios consejos para salir adelante, por brindarme su gran amor, sus bendiciones y oraciones; y por supuesto, el agradecimiento más profundo a mi familia. Su apoyo, colaboración e inspiración no habría sido posible llevar a cabo este trabajo.

A mis amigos que siempre me han acompañado para llevar a buen término mi carrera universitaria.

A mis compañeros de carrera que siempre he podido contar con ellos en todo momento a lo largo de todos estos años.

Y finalmente quiero dedicárselo a todas las personas que en estos años he conocido y compartido momentos muy agradables, que me han apoyado, no sólo en lo académico, sino también en lo personal. A todos ellos, y sin dejar a nadie en el olvido, quiero dedicarles este triunfo por su tiempo, sus palabras y su apoyo incondicional. Gracias.

**IVAN DARIO**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de grado y toda mi carrera universitaria:

Dios por ser quien ha estado a mi lado en todo momento dándome las fuerzas necesarias para continuar luchando día tras día y seguir adelante cumpliendo todas metas que me he propuesto alcanzar.

Le agradezco a mi mamá Rosa María Pérez Meza y mi papá Erwin Ordoñez ya que gracias a ellos soy quien soy hoy en día, fueron los que me dieron ese cariño y calor humano necesario, son los que han velado por mi salud, mis estudios, mi educación alimentación entre otros, son a ellos a quien les debo todo, horas de consejos , de regaños, de reprimendas de tristezas y de alegrías de las cuales estoy muy seguro que las han hecho con todo el amor del mundo para formarme como un ser integral y de las cuales me siento extremadamente orgulloso,

Le agradezco a mi hermano (Yeins Ordoñez) y hermanas (Isabella Ordoñez, Ana Elsa Ordoñez, Daniela Alejandra Ordoñez y Karina Ordoñez) quienes han estado a mi lado, han compartido todos esos secretos y aventuras que solo se pueden vivir entre hermanos y que han estado siempre alerta ante cualquier problema que se me puedan presentar.

A mi esposa Gloria Cecilia Portilla y a mi hijo Crhistian Camilo Ordoñez quienes han convertido los últimos cinco años en amor y cariño verdadero.

También les agradezco a mis amigos más cercanos, a esos amigos que siempre me han acompañado y con los cuales he contado desde que los conocí, Julián Bejarano un amigo por siempre, Miller Andrés Montano y Víctor Castro, amigos para siempre. También agradezco a todos los profesores que me han apoyado una y otra vez, y todos aquellos a quien no menciono por lo extensa que sería la lista.

**JHON EDWIN**

## **AGRADECIMIENTOS**

Le damos gracias a Dios, por estar con nosotros en cada paso que damos, por fortalecer nuestro corazón e iluminar nuestra mente y por haber puesto en nuestro camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Esta tesis, si bien ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación por parte de sus autores y su directora de tesis, la ingeniera Jenny Imbachi no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada por su comprensión, cariño y por la gran calidad humana que nos ha demostrado con una actitud de respeto.

Un agradecimiento especial a los ingenieros Oscar Calderón, Luis Guerrero y Víctor Quintero por la colaboración, conocimiento, paciencia, y apoyo que desinteresadamente nos han ofrecido en el transcurso de la elaboración de la tesis; y sobre todo por esa gran amistad que nos siguen brindando, por escucharnos y aconsejarnos. Gracias por sus ayudas cuando más la necesitábamos, por ser unas personas con la que pudimos contar.

En general quisiera agradecer a todas y cada una de las personas que han vivido con nosotros la realización de esta tesis, con sus altos y bajos, y que no necesitamos nombrar porque tanto ellos como nosotros saben que desde los más profundo de nuestros corazones les agradecemos el habernos brindado todo el apoyo, colaboración, cariño, ánimo y una gran amistad.



## TABLA DE CONTENIDO

### INTRODUCCIÓN

<b>CAPITULO I – ASPECTOS DEL SISTEMA DRM .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 GENERALIDADES .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 CARACTERISTICAS .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 ARQUITECTURA DEL SISTEMA .....</b>	<b>5</b>
<b>1.4 ESQUEMA DE TRANSMISIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>1.5 TRANSMISOR DRM.....</b>	<b>8</b>
1.5.1 Precodificador .....	8
1.5.2 Codificador de Fuente.....	9
1.5.2.1 Codificador de audio .....	9
1.5.2.2 Codificador de voz.....	10
1.5.3 Multiplexor DRM .....	10
1.5.3.1 Canal de servicio principal (MSC, <i>Main Service Channel</i> ) .....	11
1.5.3.2 Canal de acceso rápido (FAC, <i>Fast Access Channel</i> ) .....	11
1.5.3.3 Canal de descripción del servicio (SDC, <i>Service Description Channel</i> ) .....	11
1.5.4 Dispersador de Energía .....	12
1.5.5 Codificador de Canal.....	12
1.5.6 Entrelazador de Símbolos.....	13
1.5.7 Generador Piloto .....	13
1.5.8 Mapeador OFDM.....	13
1.5.9 Generador de Señal OFDM.....	13
1.5.10 Modulador DRM.....	13
<b>1.6 CANAL DE COMUNICACIÓN .....</b>	<b>14</b>
1.6.1 Descripción del Canal para la Banda SW .....	14
1.6.1.1 Fenómenos en el canal .....	14
1.6.1.1.1 Dispersión temporal ( $T_m$ ) .....	14
1.6.1.1.2 Dispersión frecuencial .....	15
1.6.1.1.3 Ruido .....	15
1.6.2 Descripción del Canal para la Banda MW.....	15
<b>1.7 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL RECEPTOR .....</b>	<b>16</b>
1.7.1 Demodulador de OFDM .....	16
1.7.2 Estimación de Canal.....	16
1.7.3 Decodificador de Canal .....	16
1.7.4 Decodificador de Fuente .....	16
<b>1.8 PARAMETROS DE TRANSMISIÓN .....</b>	<b>17</b>
1.8.1 Ancho de Banda de la Señal .....	17
1.8.2 Relacionados con la Eficiencia de Transmisión.....	17
1.8.2.1 Modulación y codificación .....	18
1.8.2.2 Parámetros OFDM.....	18



<b>1.9 EXPERIENCIAS DE LA UTILIZACIÓN DEL SISTEMA DRM EN OTROS PAISES .....</b>	<b>19</b>
1.9.1 Pruebas Realizadas en la Banda SW .....	19
1.9.1.1 Conclusiones de las pruebas realizadas en México y Brasil .....	21
1.9.2 Pruebas Realizadas en la Banda MW .....	21
1.9.2.1 Prueba <i>simulcast</i> .....	22
1.9.2.2 Conclusiones de las pruebas realizadas en España .....	23

## **CAPITULO II – DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGIAS DE RADIODIFUSION SONORA EN ONDA MEDIA Y ONDA CORTA ..... 25**

<b>2.1 ESTÁNDARES DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL DRM E IBOC-AM .....</b>	<b>25</b>
2.1.1 Estándar IBOC.....	25
2.1.1.1 Modos de transmisión y utilización del espectro .....	25
2.1.1.2 Diagramas en bloques del sistema de transmisión de IBOC AM .....	29
2.1.1.2.1 Subsistema de entrada de audio y datos.....	29
2.1.1.2.2 Subsistema de transporte y servicio de multiplexación .....	30
2.1.1.2.3 Subsistema de transmisión .....	30
2.1.2 Estándar DRM.....	31
2.1.2.1 Protocolo de información y distribución de servicios.....	31
2.1.2.2 Parámetros relacionados con el ancho de banda de la señal .....	31
2.1.2.3 Transmisión simultánea de AM y DRM.....	32
<b>2.2 COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS DRM E IBOC.....</b>	<b>33</b>
2.2.1 Codificación de Fuente.....	33
2.2.2 Codificación de Canal.....	35
2.2.3 Esquema de Transmisión Multiportadora.....	35
2.2.3.1 Esquema de transmisión en IBOC AM .....	35
2.2.3.2 Esquema de transmisión DRM .....	35
2.2.4 Cuadro Comparativo de los Estándares IBOC y DRM.....	35
<b>2.3 CONCLUSIONES DE LA COMPARACIÓN IBOC Y DRM.....</b>	<b>36</b>

## **CAPITULO III- MODIFICACIONES AL TRANSMISOR ANALÓGICO Y REQUERIMIENTOS TECNICOS QUE PERMITAN LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS DRM..... 38**

<b>3.1 MODIFICACIÓN DE LOS TRANSMISORES.....</b>	<b>38</b>
3.1.1 Principio de Generación de la Señal DRM .....	38
3.1.2 Principio de Comportamiento Lineal en Amplificación .....	40
3.1.2.1 Amplificadores no lineales .....	42
3.1.2.2 Amplificadores lineales .....	44
3.1.3 Transformación de los Diversos Tipos de Transmisores a DRM .....	44
3.1.4 Eficiencia en la Cobertura .....	45
3.1.5 Mascara Espectral del Transmisor DRM.....	46
3.1.6 Prácticas al Modificar un Transmisor AM en DRM .....	47
<b>3.2 ESTUDIO DE LA COBERTURA.....</b>	<b>48</b>
3.2.1 Cobertura Según la Banda.....	48
3.2.1.1 Banda SW.....	48





Iván Darío Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez

3.2.1.2	Banda MW .....	51
3.2.2	Relaciones de Protección .....	52
3.2.3	Propagación.....	55
3.2.3.1	Propagación en la banda SW.....	55
3.2.3.2	Propagación en la banda MW .....	55
<b>3.3</b>	<b>ANTENAS.....</b>	<b>56</b>
3.3.1	Antenas en la Banda MW.....	56
3.3.2	Antenas en la Banda SW .....	57
<b>3.4</b>	<b>RECEPTOR .....</b>	<b>58</b>
<b>3.5</b>	<b>ELEMENTOS PARA LA TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN DE UNA SEÑAL DRM .....</b>	<b>58</b>
3.5.1	Estudio .....	58
3.5.1.1	Consola .....	58
3.5.1.2	Cableado.....	59
3.5.2	Enlace Estudio Transmisor (STL) .....	60
3.5.3	Transmisor.....	61
3.5.3.1	Ubicación del transmisor .....	62
3.5.3.2	Transmisor .....	62
3.5.4	Transmisión <i>Simulcast</i> .....	62
<b>3.6</b>	<b>REQUERIMIENTOS TECNICOS .....</b>	<b>63</b>
3.6.1	Valores para la Mínima Intensidad de Campo Utilizable .....	64
<b>3.7</b>	<b>REQUERIMIENTOS DE SERVICIOS PARA PRESTAR EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN TERRESTRE ...</b>	<b>66</b>

## **CAPITULO IV – VIABILIDAD TÉCNICA DELA IMPLEMENTACION DEL ESTÁNDAR DRM EN COLOMBIA.....69**

<b>4.1</b>	<b>DEFINICIÓN DE CRITERIOS PARA LA EVALUACION DE LA VIABILIDAD TÉCNICA.....</b>	<b>69</b>
4.1.1	Criterio I. Calidad de Audio.....	69
4.1.2	Criterio II. Confiabilidad del Circuito de Transmisión.....	69
4.1.3	Criterio III. Niveles de Potencia y Zona de Cobertura .....	69
4.1.4	Criterio IV. Compatibilidad con el Actual Sistema Analógico de Radiodifusión Sonora.....	70
4.1.5	Criterio V. Consideraciones Sobre Distribución de Canales .....	70
4.1.6	Criterio VI. Manejo del Espectro de Forma Eficiente .....	70
4.1.7	Criterio VII. Requerimientos de Servicios.....	70
<b>4.2</b>	<b>EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS.....</b>	<b>70</b>
4.2.1	Criterio I .....	71
4.2.2	Criterio II .....	73
4.2.3	Criterio III .....	74
4.2.4	Criterio IV .....	75
4.2.5	Criterio V .....	75
4.2.6	Criterio VI .....	76
4.2.7	Criterio VII .....	76
4.2.7.1	Requisito de la norma del servicio .....	76
4.2.7.2	Capacidad para una transición gradual.....	77
4.2.7.3	Difusión de datos.....	77



*Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez*

4.2.7.4	Requisitos de la calidad de audio .....	77
4.2.7.5	Eficiencia espectral .....	77
4.2.7.6	Fiabilidad de los servicios.....	78
4.2.7.7	Información del servicio para selección de sintonía.....	78
4.2.7.8	Consideraciones sobre el sistema de transmisión.....	78
4.2.7.9	Consideraciones sobre el receptor .....	78
4.2.7.10	Compromiso variable.....	79
<b>4.3</b>	<b>SÍNTESIS DE LA EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS.....</b>	<b>79</b>
<b>4.4</b>	<b>DETERMINACION DE LA VIABILIDAD TÉCNICA .....</b>	<b>80</b>
	<b>CAPITULO V –CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>82</b>
<b>5.1</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>82</b>
<b>5.2</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>84</b>
5.2.1	Técnicas y Operativas.....	84
5.2.2	Trabajos Futuros.....	85
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>86</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>88</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Distribución del Espectro en AM .....	3
Figura 1.2 Bloques de un Sistema de Comunicación Digital .....	5
Figura 1.3 Esquema de Transmisión COFDM .....	6
Figura 1.4 Seis Sub-portadoras en el Dominio del Tiempo y la Frecuencia.....	7
Figura 1.5 Diagrama en Bloques del Transmisor DRM .....	9
Figura 1.6 Clases de Codificación de Fuente.....	9
Figura 1.7 Diagrama del Multiplexor DRM.....	11
Figura 1.8 Propagación de la MW .....	15
Figura 1.9 Diagrama en Bloques del Receptor Software DRM .....	16
Figura 2.1 Espectro de Frecuencias de Modo Híbrido para IBOC-DSB (Configuración de 5KHz).....	27
Figura 2.2 Espectro de Frecuencias de Modo Híbrido para IBOC-DSB (Configuración de 8 KHz).....	27
Figura 2.3 Espectro de Frecuencias de Modo Totalmente Digital.....	29
Figura 2.4 Diagrama Funcional Sistema Transmisión IBOC AM.....	30
Figura 2.5 Aplicación de las Interfaces del Protocolo DCP.....	31
Figura 2.6 Ocupación del Espectro de la Señal DRM para la Región 2 .....	32
Figura 2.7 Espectro de Frecuencias para Transmisión Simultánea DRM y AM .....	33
Figura 3.1 Etapa RF de la Señal Compuesta I/Q.....	39
Figura 3.2 Característica de Transferencia de los Amplificadores Operando en la Zona Lineal .....	40
Figura 3.3 Espectro de Salida del Transmisor con: A) Relación Pico-Promedio de 10 dB; B) Incrementó de 2 dB a la Potencia Promedio.....	41
Figura 3.4 Amplificador no Lineal Operando de Manera Lineal.....	42
Figura 3.5 Técnica A/RFP .....	43
Figura 3.6 Señal DRM, Generada al Reutilizar un Transmisor AM-PWM .....	45
Figura 3.7 Mascara Espectral del Transmisor DRM .....	46
Figura 3.8 Mascara Espectral del Transmisor DRM con Curvas de Selectividad del Receptor.....	47
Figura 3.9 Ejemplo de una Red Isofrecuencial para Onda de Cielo .....	50
Figura 3.10 Transmisores Gap-Fillers en Redes SFN.....	50
Figura 3.11 Repetidores Co-Canal en SFN.....	51
Figura 3.12 Red de Frecuencias Múltiple .....	51
Figura 3.13 Comportamiento VSWR de una Antena con Relación a las Frecuencias que se Encuentran Cerca de la Frecuencia Resonante.....	57
Figura 3.14 Consola Utilizada para Radiodifusión Sonora Analógica y/o Digital .....	59
Figura 3.15 Composición del Cable STP .....	60
Figura 3.16 Composición del Cable Coaxial.....	60
Figura 3.17 STL Utilizando Red Ethernet para la Transmisión de Datos .....	61
Figura 3.18 STL Utilizando un Modem/Demultiplexor para la Transmisión de Datos .....	61
Figura 3.19 Composición del Modelo de Transmisión.....	62
Figura 3.20 Esquema de Transmisión <i>Simulcast</i> .....	63



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Correspondencia entre el Ancho de Banda y la Ocupación del Espectro .....	17
Tabla 1.2 Relación entre Constelaciones con los Tres Canales Principales.....	18
Tabla 1.3 Relación entre los Modos, las Bandas, la Capacidad y las Condiciones de Propagación Utilizadas. ....	18
Tabla 1.4 Relación entre la Lista de Parámetros de OFDM y los Modos de Robustez.....	19
Tabla 1.5 Número de Sub-Portadoras Según el Modo y la Ocupación del Espectro.....	19
Tabla 1.6 Características Técnicas Utilizadas en la Transmisión (SW).....	20
Tabla 1.7 Otros Aspectos Tenidos en Cuenta en las Pruebas (SW) .....	20
Tabla 1.8 Resultados Obtenidos para el Modo de Robustez B enSW.....	20
Tabla 1.9 Características Técnicas Utilizadas en la Transmisión (MW) .....	22
Tabla 1.10 Otros Aspectos Tenidos en Cuenta en las Pruebas (MW).....	22
Tabla 1.11 Resultados Obtenidos para el Modo de Robustez más Utilizado (MW) .....	22
Tabla 1.12 Características Técnicas Utilizadas en la Transmisión <i>Simulcast</i> (MW) .....	22
Tabla 1.13 Otros Aspectos Tenidos en Cuenta en la Prueba <i>Simulcast</i> (MW).....	22
Tabla 1.14 Resultados Obtenidos en la Transmisión <i>Simulcast</i> para la señal AM.....	23
Tabla 1.15 Resultados Obtenidos para la Transmisión <i>Simulcast</i> para DRM.....	23
Tabla 2.1 Características de la Forma de Onda Híbrida. ....	27
Tabla 2.2 Características del Espectro de la Señal Totalmente Digital .....	29
Tabla 2.3 Velocidades de Transmisión de Datos nominales de los Canales Lógicos en IBOC AM.....	34
Tabla 2.4 Velocidades de Transmisión de Datos nominales de los Principales en DRM ..	34
Tabla 2.5 Características Generales IBOC y DRM.....	35
Tabla 3.1 Anchos de Banda de las Componentes Según el Ancho de Banda Nominal ....	43
Tabla 3.2 Datos de la Conversión de un Transmisor AM con un amplificador Clase C a DRM.....	44
Tabla 3.3 Relaciones de Protección de RF Relativas para una Señal AM Interferida por una Señal DRM .....	53
Tabla 3.4 Relaciones de Protección de RF Relativas para una Señal DRM Interferida por una Señal AM .....	53
Tabla 3.5 Relaciones de Protección de RF Relativas para una Señal DRM Interferida por otra Señal DRM.....	54
Tabla 3.6 Valores de Corrección S/I para otro tipo de Esquema de Modulación DRM con Diferente Nivel de Protección.....	54
Tabla 3.7 Valores Obtenidos de VSWR al Utilizar Antenas MW, Dependiendo del Ancho de Banda.....	57
Tabla 3.8 Método Utilizado para Encontrar la Mínima Intensidad de Campo Utilizable. ....	64
Tabla 3.9 Mínima Intensidad de Campo Utilizable para la Banda de MW con Ancho de Banda de 9/10 KHz, Modo de Robustez A y Propagación de Onda de Superficie.....	65
Tabla 3.10 Mínima Intensidad de Campo Utilizable para la Banda de MW con Ancho de Banda de 9/10 KHz, Modo de Robustez A y Propagación de Onda de Superficie e Ionosférica.....	65
Tabla 3.11 Rango de la Mínima Intensidad de Campo Utilizable para la Banda de SW con Ancho de Banda de 10 KHz, Modo de Robustez B y Propagación de Onda Ionosférica.....	66



*Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez*

Tabla 3.12 Rango de la Mínima Intensidad de Campo Utilizable para la Banda de SW con Ancho de Banda de 10 KHz, Modo de Robustez C y Propagación de Onda Inosferica.....	66
Tabla 3.13 Rango de la Mínima Intensidad de Campo Utilizable para la Banda de SW con Ancho de Banda de 10 KHz, Modo de Robustez D y Propagación de Onda Inosferica.....	66
Tabla 3.14 Requisitos para el Servicio de Radiodifusión Digital.....	67
Tabla 4.1 Valores Asociados con la Calidad Subjetiva de Audio .....	71
Tabla 4.2 Clasificación de los Criterios de Evaluación .....	79
Tabla 4.3 Síntesis de Evaluación del Criterio VII: Requerimientos de Servicio .....	80



## LISTA DE ACRÓNIMOS

AAC	Codificación Audio Avanzada, <i>Advanced Audio Coding</i>
A <sub>AF</sub>	Relación de Protección de Audio Frecuencia, <i>Audio Frequency Protection Ratio</i>
ADS	Servicio de Datos Avanzado, <i>Advanced Data Service</i>
AM	Modulación de Amplitud, <i>Amplitude Modulation</i>
AWG	Calibre de Alambre Estadounidense, <i>American Wire Gauge</i>
BER	Tasa de Error de Bit, <i>Bit Error Rate</i>
CELP	Predicción Lineal con Excitación por Código, <i>Code Excited Linear Prediction</i>
COFDM	Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal Codificado, <i>Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
DCP	Protocolo de Comunicación y Distribución, <i>Distribution and Communications Protocol</i>
DRM	Radio Digital Mundial, <i>Digital Radio Mondiale</i>
DSB-FC	Doble Banda Lateral con Portadora Completa, <i>Double Side Band Full Carrier</i>
EEP	Protección de Error Igual, <i>Equal Error Protection</i>
ETSI	Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones, <i>European Telecommunications Standards Institute</i>
FAC	Canal de Acceso Rápido, <i>Fast Access Channel</i>
FEC	Corrección de Errores hacia Adelante, <i>Forward Error Correction</i>
FM	Modulación de Frecuencia, <i>Frequency Modulation</i>
HCR	Reordenación de Código de Palabras Huffman, <i>Huffman Codeword Reordering</i>
HDC	Codificador de Alta Definición, <i>Hybrid Digital Coding</i>
HVXC	Codificación por Excitación Vectorial Armónica, <i>Harmonic Vector Excitation Coding</i>
IBOC	Funcionamiento en la Banda y en el mismo Canal, <i>In Band On Channel</i>



*Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez*

IEC	Comité Electrotécnico Internacional, <i>International Electrotechnical Committee</i>
ISI	Interferencia Intersímbolo, <i>Intersymbol Interference</i>
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones, <i>International Telecommunication Union</i>
LOF	Mínima Frecuencia Utilizable, <i>Lower Usable Frequency</i>
LW	Onda Larga, <i>Long Wave</i>
MCI	Interfaz de Control del Modulador, <i>Modulator Control Interface</i>
MDI	Interfaz de Distribución Múltiplex, <i>Multiplex Distribution Interface</i>
MER	Tasa de Error de Modulación, <i>Modulation Error Rate</i>
MLC	Codificación Multinivel, <i>Multilevel Coding</i>
MPEG	Grupo de Expertos de Imágenes en Movimiento, <i>Moving Picture Experts Group</i>
MPS	Servicio de Programa Principal, <i>Main Program Service</i>
MSC	Canal de Servicio Principal, <i>Main Service Channel</i>
MSN	Redes de Frecuencias Múltiple, <i>Multi Frequency Network</i>
MUF	Máxima Frecuencia Utilizable, <i>Maximum Useable Frequency</i>
MW	Onda Media, <i>Medium Wave</i>
NRSC	Comité Nacional de Sistemas de Radio de los Estados Unidos, <i>National Radio Systems Committee</i>
OWF	Frecuencia Óptima de Trabajo, <i>Optimal Working Frequency</i>
PAC	Codificador de Audio Perceptual, <i>Perceptual Audio Coder</i>
PAPR	Relación de Potencia Pico a Promedio, <i>Peak to Average Power Ratio</i>
PIDS	Servicio de Datos Primario, <i>Primary Data Service Logical Channel</i>
QAM	Modulación de Amplitud en Cuadratura, <i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
QPSK	Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura, <i>Quadrature Phase Shift Keying</i>



*Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez*

RDS	Sistema de Radiocomunicaciones de Datos, <i>Radio Data System</i>
RVLC	Codificación de Longitud Variable Reversible, <i>Reversible Variable Length Coding</i>
SBR	Reproducción de Banda Espectral, <i>Spectral Band Replication</i>
SDC	Canal de Descripción del Servicio, <i>Service Description Channel</i>
SDI	Interfaz para la Distribución del Servicio, <i>Service Distribution Interface</i>
SFN	Red de Frecuencia Única, <i>Single Frequency Networks</i>
SIS	Servicio de Identificación de la Estación, <i>Station Identification Service</i>
S/I	Señal/Interferencia, <i>Signal/Interference</i>
S/R	Relación Señal a Ruido, <i>Signal Noise Ratio</i>
SSB- FC	Banda Lateral Única con Portadora Completa, <i>Single Side Band Full Carrier</i>
STP	Cable de Par Trenzado Apantallado, <i>Shielded Twisted Pair</i>
SW	Onda Corta, <i>Short Wave</i>
SWR	Relación de Onda Estacionaria, <i>Standing Wave Ratio</i>
UEP	Protección de Error Desigual, <i>Unequal Error Protection</i>
VSWR	Relación de Onda Estacionaria de Voltajes, <i>Voltage Standing Wave Ratio</i>





## **INTRODUCCIÓN**

A lo largo de sus casi 80 años de operación, el sector de la radiodifusión en Colombia se ha convertido en una fuente generadora de riquezas, recursos e innovación, además de ser testigo y actor de los hechos más importantes de la vida de la nación en el siglo XX. Actualmente, cuando el papel de la radiodifusión se ha enriquecido por el dinamismo de sus empresas, y el país cuenta con un sector radial que cumple variadas funciones, el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, considera procedente ante la eventual migración hacia la digitalización, realizar el análisis de los estándares para radio digital.

La introducción de la tecnología digital en la radiodifusión sonora, es uno de los desarrollos más importantes para este medio después de la Modulación en Frecuencia como mecanismo para enviar el audio analógico; así, la digitalización de las transmisiones sonoras proporciona dos beneficios destacados: La introducción de nuevos servicios de valor agregado, que comprende la transmisión de texto e imágenes enviadas al tiempo que el audio digital; y, el uso eficiente del espectro radioeléctrico que posibilita la multicanalización y la mejora significativa de la calidad de audio. Para la radiodifusión sonora en Onda Media y Onda Corta, sumarle los anteriores beneficios a la característica de amplias zonas de cobertura, le dan un nuevo aire a un servicio de telecomunicaciones analógico, que en estas bandas está sujeto a limitaciones de calidad de audio y elevada influencia de los fenómenos de propagación, como la interferencia causada por el ruido hecho por el hombre; por lo tanto es importante la realización del análisis de la nueva tecnología digital, teniendo en cuenta el estándar que permite la operación en las frecuencias inferiores a los 30 MHz.

El presente trabajo de grado, describe y analiza los parámetros y requisitos técnicos necesarios para determinar la viabilidad técnica de la implementación en Colombia, del estándar de radiodifusión sonora digital denominado DRM, de gran acogida mundial. Este análisis se presenta en los siguientes capítulos, así:

Capítulo I: Se definen los conceptos básicos del sistema de transmisión bajo el estándar DRM, proporcionando la base conceptual necesaria para entender su estructura funcional. Posteriormente se realiza el análisis a los resultados obtenidos en pruebas de desempeño del sistema en varios escenarios del mundo.

Capítulo II: Como aspecto importante para alcanzar los objetivos del trabajo de grado, se analizan las características técnicas del sistema de radiodifusión analógico en Colombia, donde se requiere implementar la nueva tecnología. En la segunda parte del capítulo se realiza una comparación con el estándar de radiodifusión digital IBOC-AM, también desarrollado para operar en frecuencias inferiores a 30 MHz.

Capítulo III: Se efectúa una descripción de los requerimientos técnicos necesarios para establecer las condiciones de operación de la tecnología de radiodifusión digital; además se incluye la descripción del proceso de adaptación del sistema analógico para la inserción de características digitales.

Capítulo IV: Se establece la viabilidad técnica de la implementación del sistema de radiodifusión digital en Colombia bajo el estándar DRM, mediante la definición y



*Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez*

evaluación de criterios técnicos, teniendo en cuenta la información presentada en los capítulos anteriores y en el anexo.

Capítulo V: Contiene las conclusiones y recomendaciones técnicas, operativas y de trabajos futuros, resultado del análisis y desarrollo del trabajo de grado.

Anexo 1. En esta sección del trabajo se presenta con detalle las características técnicas del sistema de radiodifusión sonora bajo el estándar DRM; incluye además las experiencias de implementación del estándar realizadas en Brasil, España, México.

Anexo 2. Este anexo muestra una descripción breve de la radiodifusión sonora en AM en Colombia, teniendo en cuenta los aspectos técnicos y estructurales del sistema de transmisión.



## CAPITULO I – ASPECTOS DEL SISTEMA DRM

La tendencia mundial a adoptar tecnologías digitales en los sistemas de radiodifusión sonora, ha impulsado en los diferentes países la realización de estudios de diversos estándares con el fin de determinar el más adecuado para sus territorios. Entre los sistemas que operan en frecuencias menores a 30 MHz, se encuentra el estándar Radio Digital Mundial (DRM, *Digital Radio Mondiale*). En este capítulo se presenta la descripción de este estándar, bloques funcionales, ventajas y desventajas, y las experiencias obtenidas en los procesos de análisis y adopción efectuados en varios países, conformando un soporte teórico necesario en el proceso de análisis de la viabilidad técnica, para la implementación del estándar DRM en Colombia en las bandas de Onda Corta (SW, *Short Wave*) y Onda Media (MW, *Medium Wave*) [3].

### 1.1 GENERALIDADES

El sistema definido en DRM es un estándar de radiodifusión sonora digital desarrollado por el consorcio que posee el mismo nombre, formado el 5 de marzo de 1998 en Guangzhou (China) [1], cuando un pequeño grupo de radiodifusores y fabricantes se unieron con el propósito de establecer un sistema digital abierto y no propietario para las frecuencias por debajo de 30 MHz, cuya distribución del espectro se presenta en la Figura 1.1.

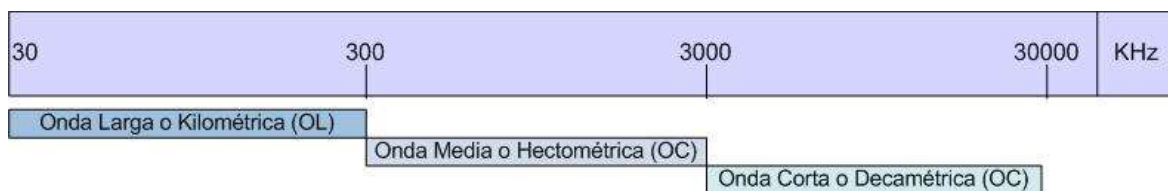


Figura 1.1 Distribución del Espectro en AM [3]

Al ser un sistema abierto y no propietario permite que cualquier fabricante diseñe y fabrique el equipo sobre una base general. DRM se ha extendido como consorcio a nivel internacional por medio de radiodifusores, fabricantes, operadores de redes, instituciones de investigación y de radiodifusión, además cuenta con miembros que representan a más de 30 países y más de 40 asociados.

El sistema fue certificado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, *International Telecommunication Union*) en abril del 2001 bajo la recomendación BS 1514, y admitido como estándar para la radiodifusión digital en las bandas con Modulación de Amplitud (AM, *Amplitude Modulation*) a nivel mundial en 2003, permitiendo a un número significativo de radiodifusores comenzar a emitir en junio de ese mismo año [2]. El sistema ha sido estandarizado por el Comité Electrotécnico Internacional (IEC, *International Electrotechnical Committee*) mediante la norma IEC-62272-1, y por el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI, *European Telecommunications Standards Institute*) bajo el estándar ES 201 980 [3].

A pesar de que el sistema de radiodifusión sonora AM es uno de los principales medios de información en el hogar, que posibilita además la cobertura de extensas áreas, se ha presentado una disminución gradual del interés del público por sus servicios durante los últimos años en casi todo el mundo. Por lo anterior, DRM crea un sistema de transmisión



*Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez*

digital alternativo, con el propósito de dar un nuevo auge a las bandas utilizadas por los sistemas con AM, prestándoles a sus radioescuchas un mejor servicio con funciones innovadoras [3].

Debido a las características de los sistemas de radiodifusión analógicos, la presencia de fenómenos atmosféricos que afectan la señal transmitida, y las exigencias de los usuarios de nuevos servicios con mayor calidad, impulsó a DRM a establecer un sistema de radiodifusión digital en la banda AM que cubra las deficiencias del sistema anterior. A continuación se realiza una descripción del sistema de radiodifusión sonora digital con el estándar DRM.

## **1.2 CARACTERISTICAS**

El estándar DRM se ha desarrollado con el propósito de incluir los beneficios de las técnicas digitales en los sistemas de radiodifusión sonora que operan en frecuencias inferiores a 30 MHz, logrando una calidad de audio similar a la proporcionada por la Modulación de Frecuencia (FM, *Frequency Modulation*) con menor ruido, sin estática, sin interferencias o desvanecimientos, utilizando anchos de banda entre 4,5 KHz y 20 KHz [3].

Para lograr lo anterior, DRM utiliza el formato MPEG-4 [3] que permite alcanzar una muy buena calidad sonora a 64 Kbps, comparable con la obtenida al utilizar el sistema de compresión MPEG-2 a 192 Kbps y con el MPEG-3 a 128 Kbps, normas de codificación desarrolladas por el estándar internacional de Grupo de Expertos de Imágenes en Movimiento (MPEG, *Moving Picture Experts Group*).

El sistema de radiodifusión sonora digital bajo el estándar DRM utiliza las mismas frecuencias del analógico con AM, facilitando su introducción al ser innecesaria la adquisición de nuevas licencias. Otra ventaja que presenta la introducción de este estándar, es que una parte de los componentes del sistema de transmisión analógico pueden ser reutilizados, bajo ciertas consideraciones técnicas que se explican más adelante. Además, el sistema de recepción DRM permite disponer de los siguientes servicios:

- Servicios básicos de radiodifusión de audio. Servicios de radio convencional, en donde se obtiene una mejor calidad de sonido comparada con la alcanzada por un sistema de radiodifusión analógica.
- Servicios de valor agregado. Servicios adicionales como la transmisión de mensajes, noticias, información de tráfico, predicciones meteorológicas, presentados en formato de texto; complementariamente se podrían incluir imágenes estáticas.

La prestación de los diversos servicios impulsa la migración de la radiodifusión analógica a la digital multimedia.

Los sistemas que operan en las bandas de frecuencia mencionadas enfrentan limitaciones de ancho de banda y condiciones variables de propagación. Mediante la inclusión de tecnologías de radio digital se logra contrarrestar de forma eficaz los efectos causados por los fenómenos de propagación mediante la configuración de parámetros de



transmisión tales como tasa de codificación, modo de robustez, y esquema de modulación.

### 1.3 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

La descripción del sistema DRM, desarrollada en esta sección, se realiza teniendo en cuenta los bloques funcionales de un sistema general de comunicación digital, como se muestra en la Figura 1.2.

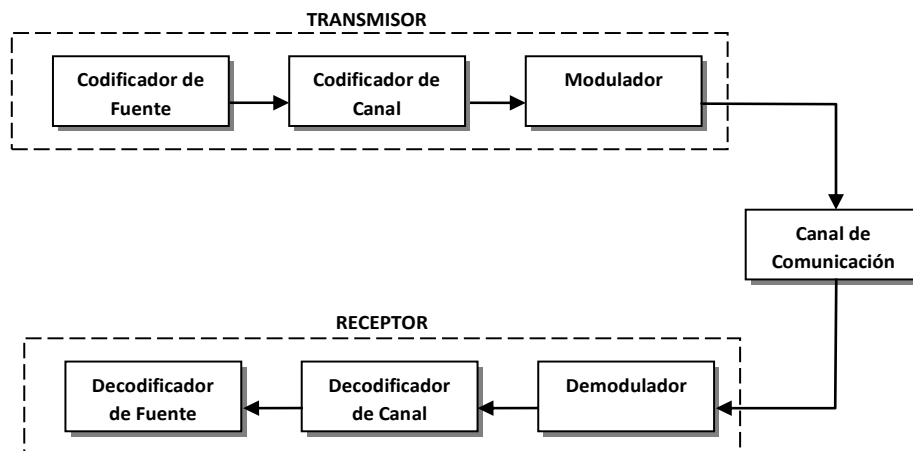


Figura 1.2 Bloques de un Sistema de Comunicación Digital

La señal analógica introducida en el transmisor requiere convertirse a un formato digital. Este proceso exige mayor capacidad en el sistema, generándose la necesidad de utilizar un codificador de fuente cuya función es remover la información redundante de la señal mensaje, para el uso eficiente del canal; como consecuencia se obtiene una disminución de la velocidad de transmisión de datos, dependiendo de las características de la señal. El flujo de datos provenientes del codificador de fuente es procesado después por el codificador de canal, quien agrega redundancia de manera controlada en la secuencia de la información, para minimizar los efectos de ruido e interferencia que introduce el canal. Finalmente, el modulador transforma el flujo de datos digitales en una forma de onda eléctrica adecuada a las características del medio de propagación.

El canal de comunicación tiene como función propagar las señales portadoras de la información desde el transmisor al receptor. Durante el proceso de propagación, la señal sufre distorsión debido a las características físicas del canal, al desvanecimiento por sombra<sup>1</sup> y/o multitrayectoria; además, el ruido y las señales interferentes lo contaminan, ocasionando que la señal recibida sea una versión corrupta de la señal transmitida. Los sistemas de radiodifusión sonora en MW no son ajenos a estos fenómenos de propagación, y por este motivo el sistema DRM tuvo en cuenta los modelos de canal que pueden ser aplicados a este tipo de comunicaciones con el propósito de definir los parámetros determinantes de transmisión. Estos modelos son el Canal de Ruido Blanco

<sup>1</sup> El desvanecimiento por sombra se conoce como la sumas de los factores de atenuación individuales introducidos en las señales que propagan por entornos con presencia de obstáculos, los cuales pueden ser atravesados, bordeados o producen reflexión de estas.



Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez

Gaussiano Aditivo (AWGN, *Additive White Gaussian Noise*), Rayleigh y Rice los cuales son descritos a continuación:

- El modelo de canal AWGN se caracteriza por agregar ruido blanco Gaussiano a la señal que pasa a través de él, y en el sistema DRM es aplicado al estudio de las transmisiones en frecuencias de MW y Onda Larga (LW, *Long Wave*) con propagación por onda de superficie. Este tipo de canal es comúnmente usado para simular la interferencia causada por el ruido eléctrico y los sistemas de radiodifusión sonora en la misma banda de frecuencias [28].
- Los modelos de canal Rice y Rayleigh simulan las condiciones de los canales con multitrayectoria, teniendo en cuenta las bandas de frecuencia MW y SW, que son de interés en este trabajo de grado. Estos modelos se caracterizan porque múltiples versiones de la señal original llegan al receptor con diferentes retardos, amplitudes y fases diferentes, provocando distorsión y desvanecimientos. El modelo Rayleigh simula transmisión con presencia considerable de obstáculos entre el transmisor y el receptor que impiden que la señal siga una trayectoria directa entre ellos; en tanto que el modelo Rice representa las condiciones de una transmisión libre de obstáculos desde el transmisor al receptor [28]. El Modelo de canal Rice toma en cuenta la señal de trayectoria directa y las componentes que llegan al receptor por múltiples trayectorias reflejadas en la ionósfera o en la superficie terrestre.

En el receptor se recibe la señal proveniente del canal y es procesada en forma inversa a la realizada en el transmisor, obteniendo una versión semejante de la señal mensaje original.

#### 1.4 ESQUEMA DE TRANSMISIÓN

DRM utiliza el esquema de transmisión denominado Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal Codificado (COFDM, *Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), que permite combatir los efectos desfavorables de los canales de propagación, principalmente el desvanecimiento por multitrayectoria. COFDM es un sistema OFDM convencional al que se le ha agregado una etapa previa de codificación de canal para el control de errores, como se indica en la figura 1.3 [5].

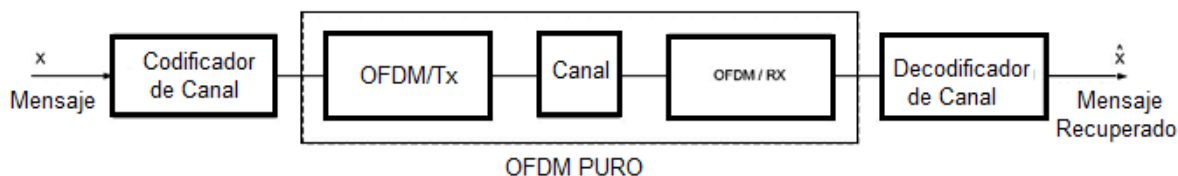


Figura 1.3 Esquema de Transmisión COFDM

En el sistema DRM, el esquema de transmisión OFDM utiliza una gran cantidad de sub-portadoras equi-espaciadas en frecuencia y moduladas individualmente en amplitud y fase utilizando el esquema de modulación M-QAM. Así, cada sub-portadora transporta grupos de 2, 4 o 6 bits de información al ser moduladas mediante 4-QAM, 16-QAM y 64-QAM, respectivamente; además, estos esquemas ofrecen un nivel de robustez propio,



siendo 4 QAM más robusta que las otras dos; así mismo, 16-QAM presenta mayor robustez frente a los efectos del canal que el esquema 64-QAM [3].

La separación en frecuencia de las sub-portadoras debe asegurar la ortogonalidad<sup>2</sup> entre ellas, con la finalidad de que sus espectros en el dominio de la frecuencia se traslapen sin causar interferencia, haciendo innecesaria la utilización de filtros en el receptor para separarlas. En el sistema DRM el número de sub-portadoras varía desde 88 a 460 [3], dependiendo del ancho de banda del canal y del modo de transmisión, que define el tiempo del símbolo OFDM y con ello la separación de las sub-portadoras OFDM. De forma particular, en la figura 1.4 se indica la ubicación para seis sub-portadoras espaciadas ortogonalmente. El conjunto de sub-portadoras durante un segmento de tiempo ( $t_s$ ) es denominado símbolo OFDM. Las sub-portadoras están separadas una distancia en frecuencia  $f_u$  (frecuencia útil) igual al inverso del tiempo útil del símbolo OFDM ( $t_u$ , duración del símbolo útil), donde  $f_u = 1/t_u$ , logrando que los niveles de potencia máximos de cada sub-portadora coincidan con los mínimos de las sub-portadoras adyacentes [2].

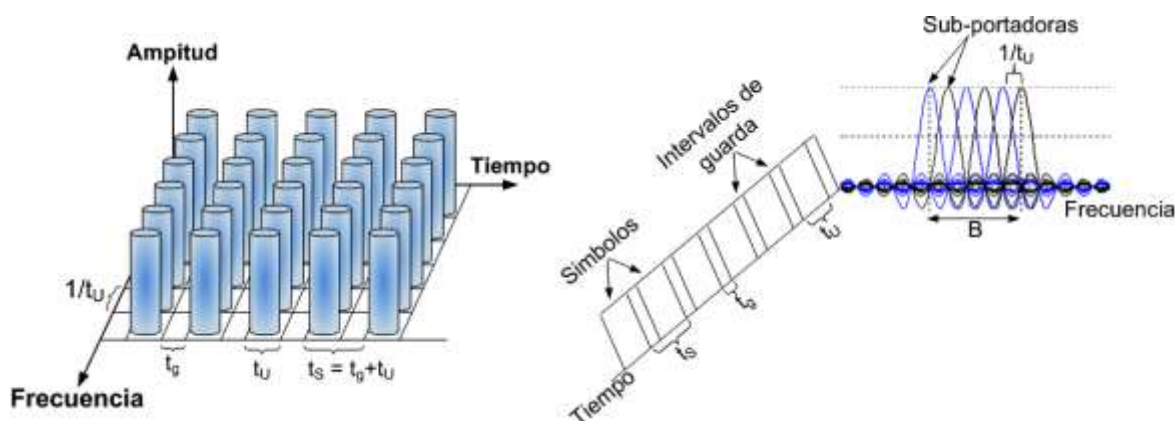


Figura 1.4 Seis Sub-portadoras en el Dominio del Tiempo y la Frecuencia

En el proceso de propagación, la señal original viaja a través de múltiples trayectorias para llegar a su destino, ocasionando distorsión en la señal; este fenómeno es conocido como Interferencia Intersímbolo (ISI, *Intersymbol Interference*), que se presenta cuando la parte final de un símbolo interfiere con el inicio del adyacente. Para evitar este fenómeno, es necesario agregar un intervalo de guarda ( $t_g$ ) en cada símbolo, cuyo propósito es introducir inmunidad a los retardos y reflexiones de la señal de propagación, de forma que en la recepción la señal recibida sea la adecuada. La duración de este intervalo depende del modo de transmisión utilizado en COFDM.

El tiempo del símbolo COFDM ( $t_s$ ) se define como la suma del intervalo de guarda y el tiempo útil como se muestra en la ecuación 1.1, y empleado por el receptor para conformar la señal.

<sup>2</sup>Según el principio de ortogonalidad, las sub-portadoras deben estar separadas en frecuencia una distancia  $f_u$ , y el espaciamiento permite que al evaluar la frecuencia central de una de las señales recibidas las otras se anulen.



$$t_s = t_g + t_U \quad (1.1)$$

Cuando se utilizan N sub-portadoras el ancho de banda base en banda base está dada por la ecuación 1.2 [2].

$$B \approx N (1/t_U) \quad (1.2)$$

La configuración de los parámetros de COFDM, permite que DRM funcione adecuadamente en diversos entornos de propagación, adaptando el sistema a las condiciones del canal de transmisión.

## **1.5 TRANSMISOR DRM**

Por lo general, los diferentes sistemas utilizados en la radiodifusión sonora digital, y en particular DRM, emplean el modelo conformado por un conjunto de etapas funcionales para implementar el proceso de transmisión, lo cual permite adecuar las señales a las condiciones del canal de transmisión. En la figura 1.5 se presentan las etapas que conforman el bloque de transmisión del sistema DRM, denominadas [2] [3]:

- Precodificador.
- Codificador de fuente.
- Multiplexor.
- Dispersador de energía.
- Codificador de canal.
- Entrelazador de símbolos.
- Generador piloto.
- Mapeador OFDM.
- Generador de señal OFDM.
- Modulador.

Las anteriores etapas se describen a continuación.

### **1.5.1 Precodificador**

Este bloque o etapa garantiza la adecuación de los flujos de datos e información de control a un formato digital apropiado [3].





Figura 1.5 Diagrama en Bloques del Transmisor DRM [3]

### 1.5.2 Codificador de Fuente

Este bloque o etapa tiene la función de convertir las señales de audio en flujos de bits, obteniendo velocidades de transmisión de datos que suelen ser altas para el ancho de banda utilizado en los servicios de radiodifusión sonora AM (4,5 KHz - para SW en Colombia, y para MW son de 10 KHz y 9 KHz en Europa) [4], creando la necesidad de utilizar mecanismos de compresión que permiten adecuar las velocidades de transmisión de datos a las condiciones específicas de estos anchos de banda. El sistema DRM utiliza diferentes esquemas de codificación de fuente como se observa en la figura 1.6, que permiten la transmisión de audio digital de alta fidelidad, con velocidades de transmisión de datos relativamente bajas en anchos de banda de 4,5 KHz, 5 KHz, 9 KHz, 10 KHz, 18 KHz y 20 KHz [3].

De acuerdo a las velocidades de transmisión de datos empleadas por el sistema DRM el codificador de fuente se divide en dos grupos:

- Codificador de audio.
- Codificador de voz.

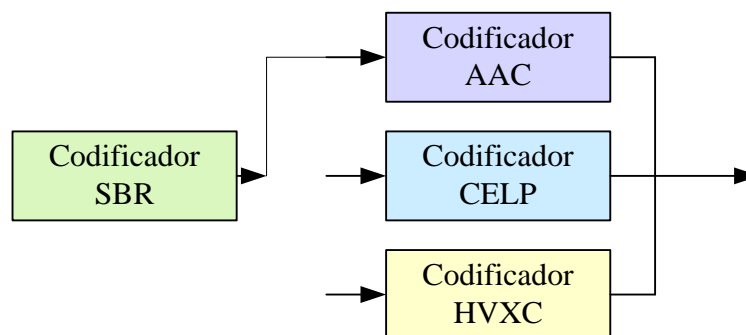


Figura 1.6 Clases de Codificación de Fuente [3]

#### 1.5.2.1 Codificador de audio

- MPEG 4 - Codificación Audio Avanzada (AAC, *Advanced Audio Coding*). Esta técnica de codificación y compresión de señales de audio, permite obtener



velocidades de transmisión de datos de hasta 72 Kbps utilizando un ancho de banda de 20 KHz [3], para radiodifusión en mono o estéreo. Es un codificador adecuado para todos los usos como voz y música, presentando como ventajas el aprovechamiento de las limitaciones del sistema auditivo humano para descarta los sonidos no detectables por él; además la codificación AAC adiciona herramientas de robustez de error tales como Codebook virtual, Codificación de Longitud Variable Reversible (RVLC, *Reversible Variable Length Coding*) y Reordenación de Código de Palabras Huffman (HCR, *Huffman Codeword Reordering*) [3].

### **1.5.2.2 Codificador de voz**

- MPEG 4 - Predicción Lineal con Excitación por Código (CELP, *Code Excited Linear Prediction*). Esta codificación es utilizada únicamente en señales de voz, ofreciendo altos niveles de calidad en los casos en que se requieran velocidades de transmisión de datos bajas, o niveles altos de protección frente a errores. MPEG 4CELP alcanza velocidades de transmisión de datos entre 4 y 20 Kbps en la transmisión de voz con salida mono aural [3].
- MPEG 4 - Codificación por Excitación Vectorial Armónica (HVXC, *Harmonic Vector Excitation Coding*). Esta codificación, se utiliza en aplicaciones de voz, manejo de múltiples idiomas y almacenamiento de programas, entre otras. Puede alcanzar velocidades de transmisión de datos de 2 a 4 Kbps [3].

Reproducción de Banda Espectral (SBR, *Spectral Band Replication*). Este tipo de codificación complementa las técnicas anteriormente descritas, permitiendo reconstruir las frecuencias altas del espectro de frecuencias de audio correspondientes a detalles sonoros (silbidos, instrumentos de percusión) que aportan realismo en la recepción, mediante la utilización del contenido espectral de la información [3].

### **1.5.3 Multiplexor DRM**

El bloque multiplexor DRM, como se observa en la figura 1.7, tiene como función transportar la información requerida por el receptor mediante el Canal de Servicio Principal (MSC, *Main Service Channel*), el Canal de Acceso Rápido (FAC, *Fast Access Channel*) y el Canal de Descripción del Servicio (SDC, *Service Description Channel*) que se explican a continuación. Estos canales transportan información relacionada con los servicios del sistema, los parámetros utilizados en los procesos de codificación y modulación, e información de distribución de sub-portadoras, entre otros aspectos [3].

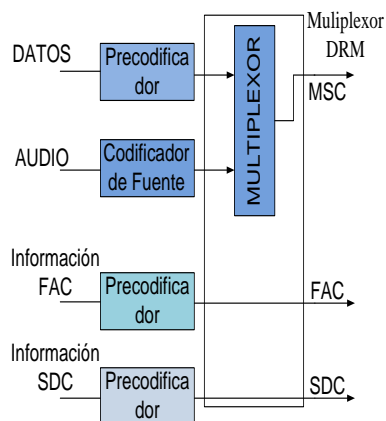


Figura 1.7 Diagrama del Multiplexor DRM

### 1.5.3.1 Canal de servicio principal (MSC, *Main Service Channel*)

Este canal se utiliza para enviar la información conocida como carga útil, dado que contiene la información de los servicios de audio y/o datos, los cuales pueden llegar a ser cuatro [3].

Para el caso de la señal de audio, la velocidad de transmisión de datos depende del ancho de banda del canal de DRM (por ejemplo 9 KHz o 10 KHz), de la tasa de codificación y del modo de transmisión, como se muestra en la sección 4 del anexo 1. Con el fin de lograr la flexibilidad necesaria en cuanto a la velocidad de transmisión de datos y la robustez, se requieren de dos tipos de constelaciones pertenecientes al esquema de modulación QAM: 16-QAM y 64-QAM [3].

### 1.5.3.2 Canal de acceso rápido (FAC, *Fast Access Channel*)

Este canal se utiliza para permitir la exploración rápida de información de selección del servicio, relacionada con el ancho de banda, el tipo de modulación que emplean el MSC y el SDC, la longitud del entrelazado, el número de servicios de audio o datos disponibles en el MSC y su correspondiente identificador de servicio. Antes de decodificar la señal de carga útil se debe decodificar la información de este canal.

Ya que los datos más críticos son transportados por el FAC, se utiliza para este canal la constelación 4-QAM que proporciona mayor robustez frente a los efectos del canal, comparada con la ofrecida por los esquemas 16-QAM y 64-QAM, empleados para modular los canales SDC y MSC [3].

### 1.5.3.3 Canal de descripción del servicio (SDC, *Service Description Channel*)

Este canal proporciona la información al receptor para decodificar el MSC, y lo referente a la identificación de la estación transmisora para su posterior presentación en el receptor. Igualmente informa sobre fuentes alternativas de los mismos datos y la programación de frecuencias.



*Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez*

La ocupación del espectro y el modo de transmisión son importantes para conocer la variación de la longitud del campo de datos [3]. Para la modulación de este canal se utilizan los esquemas 4-QAM y 16-QAM [3].

En el proceso de codificación de canal también se incluye el proceso de obtención de símbolos complejos QAM, que resulta de la aplicación de la modulación con este esquema, para luego ser procesados por el entrelazador de símbolos QAM.

#### **1.5.4 Dispersador de Energía**

Este bloque o etapa, evita que secuencias largas de ceros y unos se repitan con alta frecuencia, combinando los bytes de datos con una secuencia aleatoria dada por el polinomio generador de la ecuación (1.3) [3].

$$p(x) = x^9 + x^5 + 1 \quad (1.3)$$

#### **1.5.5 Codificador de Canal**

Este bloque o etapa se encarga de tomar los datos de entrada añadiendo bits redundantes, de tal forma que suministre un medio de protección al aumentar su robustez para la corrección de errores. El sistema DRM utiliza el mecanismo para Corrección de Errores hacia Adelante (FEC, *Forward Error Correction*), el cual implementa algoritmos de codificación de canal en el transmisor y decodificación en el receptor, que permiten la corrección de errores sin necesidad de retransmitir la información original. Las secuencias de bits provenientes de la etapa de dispersión de energía, son entregadas al codificador de canal encargado de añadir los bits redundantes por medio de la Codificación Multinivel (MLC, *Multilevel Coding*)<sup>3</sup> que utiliza los códigos convolucionales, con diferentes niveles de protección: Protección de Error Desigual (UEP, *Unequal Error Protection*) y Protección de Error Igual (EEP, *Equal Error Protection*) [3]; en el receptor, la información es decodificada mediante el algoritmo de Viterbi [29].

De acuerdo a los diferentes escenarios de propagación, los niveles de protección se asignan a los canales de servicio de la siguiente manera: para el MSC, se emplea el UEP que suministra una mayor protección a los datos más críticos y una baja protección a los menos críticos; el SDC y FAC son protegidos mediante el EEP que proporciona la misma protección para todos los datos en un mismo canal.

Para reducir los efectos de la inestabilidad de la ionosfera y de la propagación multitrayecto que experimenta la señal, el sistema DRM emplea el esquema de transmisión COFDM, asignándole datos codificados a un número determinado de sub-portadoras, las cuales son moduladas en fase y amplitud mediante el esquema de Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM, *Quadrature Amplitude Modulation*). Este procedimiento garantiza que no se pierda la totalidad de los datos, ya que el canal no afecta de manera uniforme a todas las sub-portadoras.

---

<sup>3</sup>MLC. Asocia técnicas de codificación y modulación a fin de alcanzar el mejor desempeño en la transmisión; en otras palabras, una secuencia de bits se puede codificar (en grupos de bits) para luego asignarla a una constelación.



### **1.5.6 Entrelazador de Símbolos**

Este bloque o etapa se encarga de distribuir de forma aleatoria un flujo continuo de símbolos QAM, proporcionando mayor robustez al sistema con el fin de contrarrestar el deterioro de la señal, que es producido por los canales con dispersión en el tiempo y en la frecuencia [3].

### **1.5.7 Generador Piloto**

Este bloque o etapa tiene la función de generar las sub-portadoras piloto, que transportan información para la estimación del canal y la sincronización; cuanto más robusto sea el modo de transmisión seleccionado, mayor número de sub-portadoras piloto serán utilizadas. La información que transportan las sub-portadoras piloto se clasifica en:

- Información de referencia de frecuencia.
- Información de referencia de temporización.
- Información de referencia de ganancia.

### **1.5.8 Mapeador OFDM**

Este bloque o etapa recoge los diferentes símbolos QAM de los canales MSC, FAC, SDC y los símbolos QAM emitidos por el generador piloto, para luego distribuirlos en una rejilla de tiempo-frecuencia, ordenando la información en conjuntos de sub-portadoras durante un determinado intervalo de tiempo  $T_u$ , conformando un símbolo OFDM, de acuerdo a lo establecido en el estándar DRM [3].

### **1.5.9 Generador de Señal OFDM**

En este bloque o etapa, convierte cada símbolo OFDM en su representación en el dominio del tiempo aplicando la Transformada Rápida de Fourier Inversa, e inserta un intervalo de guarda<sup>4</sup> para conformar el símbolo OFDM completo [3].

### **1.5.10 Modulador DRM**

Este bloque o etapa toma la señal discreta proveniente del generador de señal OFDM, y la convierte en una señal continua. Durante este proceso se debe filtrar la señal para cumplir con el requerimiento de ocupación del espectro de potencia<sup>5</sup> de la señal DRM formulado por la UIT-R [3].

---

<sup>4</sup>Intervalo de guarda. Es el tiempo durante el cual la transmisión de datos digitales (símbolos) se interrumpe para dejar llegar al receptor todos los diversos ecos de la señal, antes de transmitir los nuevos datos.

<sup>5</sup>Espectro de potencia. Es la representación de la señal de transmisión en el dominio de la frecuencia, donde se muestra la distribución de potencia en el ancho de banda del canal radioeléctrico asignado para la transmisión.



## **1.6 CANAL DE COMUNICACIÓN**

Retomando la información del apartado 1.3, el canal de comunicación utilizado por el sistema DRM para enviar datos desde el transmisor al receptor depende de la banda en que opera. La ionosfera es utilizada por los sistemas que operan en la banda SW, y los sistemas que operan en la banda MW utilizan la onda terrestre, que tiene la característica de viajar por la superficie de la tierra. A fin de entender cómo se afecta la señal en la propagación de las ondas radioeléctricas, se presenta a continuación una descripción general del canal y los fenómenos que en él inciden.

### **1.6.1 Descripción del Canal para la Banda SW**

La ionosfera es la capa de la atmósfera con suficiente ionización para afectar la propagación de las ondas electromagnéticas. En esta capa, las señales transmitidas sufren atenuaciones muy pequeñas, y bajo determinadas condiciones, la ionosfera se comporta como reflector para las ondas electromagnéticas, permitiendo establecer comunicaciones entre lugares distantes.

Existen algunos factores que afectan la ionosfera como son el ruido, el movimiento de la tierra alrededor del sol y los cambios en su actividad, que permiten variaciones clasificadas así:

- Variaciones regulares. Se presentan de forma periódica dependiendo de las estaciones, del ciclo solar que sucede cada 11 años y de las horas del día, entre otras; son, por lo tanto, predecibles.
- Variaciones irregulares. Se presentan de forma esporádica por perturbaciones bruscas en la ionósfera, causadas por repentinas explosiones solares que aumentan la radiación que llega a la tierra, hasta el punto de ser tan intensa que pueden bloquear las comunicaciones en ciertas bandas de frecuencia.

El enlace que se realiza a través de la reflexión ionosférica experimenta niveles de distorsión muy severos y características variables en el tiempo [5].

La propagación de las ondas de radio en SW desde el transmisor al receptor, se realiza por medio de dos componentes: La componente terrestre conocida como onda de superficie, la cual se propaga sobre la superficie de la tierra; y, la componente espacial llamada onda celeste, que viaja hasta la ionosfera siendo reflejada hacia la tierra nuevamente, logrando cubrir grandes distancias.

#### **1.6.1.1 Fenómenos en el canal**

Los fenómenos descritos a continuación se presentan en el canal de transmisión, e inciden considerablemente en el comportamiento de las señales que se propagan por el canal [5].

##### **1.6.1.1.1 Dispersión temporal (Tm) [6]**

Este fenómeno se produce porque al receptor llegan retardadas en el tiempo múltiples señales (ecos) que son versiones de la señal directa con amplitudes y fases diferentes. Los tiempos de llegada o retardos de los ecos respecto a la señal directa son aleatorios



Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez

debido a que algunos viajan distancias más grandes que otros, causando interferencia intersimbolo (ISI) cuando los retardos son más largos que los intervalos de guarda.

#### 1.6.1.1.2 Dispersión frecuencial [6]

Debido al comportamiento variable en el tiempo de las condiciones del canal de transmisión, se presentan variaciones pequeñas en las frecuencias que componen la señal, distorsionándola; el conjunto de estas variaciones son conocidas como dispersión Doppler (*Doppler Shift*), y consiste en el corrimiento en frecuencia de la señal.

#### 1.6.1.1.3 Ruido

Los servicios que pueden suministrar los sistemas de radiodifusión, dependen de la relación señal a ruido que puede experimentar un sistema SW, influenciado por:

- Ruido por interferencias. Se debe a que la banda SW presta cobertura mundial, por consiguiente las señales asignadas a las diferentes regiones pueden interferir entre sí.
- Ruido atmosférico. Producido por descargas eléctricas durante tormentas. Estas ondas se propagan al igual que las ondas de radio a través de la ionosfera.
- Ruido eléctrico. Producido por el hombre y originado por diferentes fuentes como motores, transmisores radio, líneas de alta tensión, entre otras.
- Ruido térmico. Producido por la agitación natural de los electrones a una determinada temperatura dentro de un dispositivo.

### 1.6.2 Descripción del Canal para la Banda MW

Las ondas de radio utilizadas por los sistemas que operan en la banda MW, son conocidas como terrestres o de superficie, las cuales se propagan siguiendo la curvatura terrestre consiguiendo viajar más allá del horizonte si se transmite con suficiente potencia, como se muestra en la figura 1.8. En este canal, las señales son afectadas por la atenuación debido a que parte de su energía es absorbida por la superficie terrestre; es importante denotar que la atenuación también depende de los niveles de conductividad del suelo: cuanto mejor sea esta última, menor va a ser la atenuación. Con el objeto de disminuir este problema se emplean técnicas de polarización.

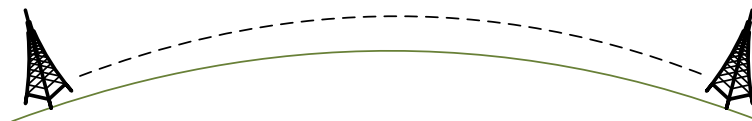


Figura 1.8 Propagación de la MW

Al igual que en la banda SW los fenómenos del canal como el ruido atmosférico, el ruido producido por el hombre y el ruido natural, afectan las señales de la banda MW.



## 1.7 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL RECEPTOR

El receptor DRM es el encargado de recibir la señal RF, y de ejecutar sobre ésta todos los procesos inversos a los efectuados en el transmisor, como se observa en la figura 1.9, obteniendo al final del proceso una señal de audio y de datos semejante a la que fue procesada en el transmisor.

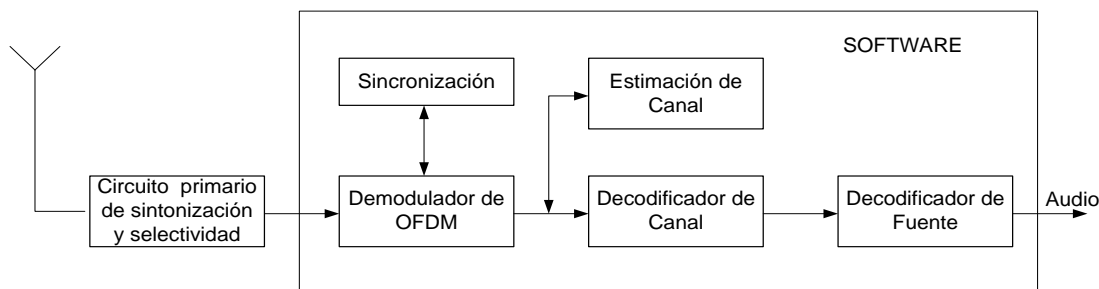


Figura 1.9 Diagrama en Bloques del Receptor Software DRM

La señal de radiofrecuencia es captada por una antena y entregada al circuito primario de sintonización y selectividad, que se encarga de eliminar las frecuencias de canal adyacente y de amplificar las señales que pertenecen al canal deseado [7]. Las etapas posteriores son encargadas de la realización de los procesos de demodulación, estimación de canal y decodificación para obtener el flujo de información.

### 1.7.1 Demodulador de OFDM

En este bloque se realiza el proceso de demodulación de la señal, teniendo en cuenta la información suministrada por los canales FAC, SDC y por las señales piloto para demultiplexar la información y además, asegurar la sincronización con el transmisor.

### 1.7.2 Estimación de Canal

En este bloque funcional se realizan las tareas de ecualización, a partir de la información de estimación de canal dada por las señales piloto. Entrega la información a los bloques decodificador de canal y fuente.

### 1.7.3 Decodificador de Canal

En este bloque se interpreta y decodifica la información proveniente de los tres canales (MSC, FAC y SDC), además se detectan y corrigen los errores presentes en la señal.

### 1.7.4 Decodificador de Fuente

Este bloque se encarga de tomar la señal proveniente del decodificador de canal y realizar el proceso inverso al efectuado en la etapa de codificación de fuente del transmisor, consiguiendo de esta manera obtener la señal original de datos y audio.





## 1.8 PARAMETROS DE TRANSMISIÓN

### 1.8.1 Ancho de Banda de la Señal

El ancho de banda real con frecuencia portadora inferior a 30 MHz ofrecido para Colombia por el sistema de radiodifusión DRM, es de 4,5 KHz y 10 KHz en SW y en MW, respectivamente. A continuación se presentan las diferentes posibilidades dadas por el estándar y sus condiciones de operación.

- 4,5/5 KHz, que corresponde a la mitad del ancho de banda de 9/10 KHz para operar en modo *simulcast*<sup>6</sup> [3].
- 9/10 KHz, bandas de radiodifusión en modo normal, para satisfacer la situación actual del plan de frecuencias [3].
- 18/20 KHz, ancho de banda utilizado para suministrar una mayor capacidad de transmisión, siempre que el plan de distribución de frecuencias vigente lo permita [3].

En la tabla 1.1, se presenta la asignación de ancho de banda teniendo en cuenta la ocupación del espectro (referirse a la sección 5 del anexo 1).

**Tabla 1.1 Correspondencia entre el Ancho de Banda y la Ocupación del Espectro [3]**

	Ocupación del Espectro					
	0	1	2	3	4	5
Ancho de Banda del Canal (KHz)	4,5	5	9	10	18	20

### 1.8.2 Relacionados con la Eficiencia de Transmisión [3]

El estándar de radiodifusión DRM está capacitado para transmitir la información enfrentando los diferentes fenómenos de canal, tales como el ruido, multitrayectoria y la dispersión Doppler, mediante la posibilidad de configurar los siguientes parámetros de transmisión:

- Parámetros de constelación y tasa de codificación. Definen la tasa de codificación y las constelaciones que se usan para enviar los datos [3].
- Parámetros de símbolo OFDM. Especifican la estructura de los símbolos OFDM que conforman la señal digital para contrarrestar efectos adversos de propagación [3].

La relación de estos parámetros está definida con mayor detalle en la sección 4 del anexo 1.

<sup>6</sup>*Simulcast*. Modo utilizado para enviar simultáneamente la señal analógica y digital.



### 1.8.2.1 Modulación y codificación

El estándar DRM presenta un rango de posibilidades que permiten alcanzar uno o dos niveles de protección simultáneamente. Obedeciendo a los requisitos del servicio, los niveles de protección son establecidos mediante la tasa de codificación y el orden de la constelación o la modulación jerárquica (En la sección 2 del anexo 1 se muestra la tasa de codificación utilizada), tal como se observa en la tabla 1.2 [3].

**Tabla 1.2 Relación entre Constelaciones con los Tres Canales Principales [3]**

Modo	Esquema de modulación (QAM)		
	MSC	FAC	SDC
Alta calidad	64	4	16
Robusto	16	4	4
Nota:	No utiliza 4	Siempre 4	No utiliza 64

### 1.8.2.2 Parámetros OFDM

Los valores de los parámetros se especifican de acuerdo a las características de las condiciones de transmisión, relacionadas con la propagación en las bandas AM; el sistema DRM prevé cuatro modos de robustez (A, B, C y D), con tres constelaciones QAM (4-QAM, 16-QAM y 64-QAM), cuatro niveles de protección y seis anchos de banda (4,5; 5; 9; 10; 18 y 20 KHz). La tabla 1.3 muestra los modos de robustez definidos según algunas condiciones típicas de propagación [3].

**Tabla 1.3 Relación entre los Modos, las Bandas, la Capacidad y las Condiciones de Propagación Utilizadas [3].**

Modos de Robustez	Condiciones típicas de propagación	Bandas utilizadas	Capacidad
<b>A</b>	Canales de onda de superficie con desvanecimiento insignificante.	MW y LW	Alta
<b>B</b>	Canales selectivos en tiempo y frecuencia, con dispersión de retardo considerable.	MW y SW	Media
<b>C</b>	Parecido al modo B, pero con dispersión Doppler considerable.	SW	Baja
<b>D</b>	Parecido al modo B, pero con retardo y dispersión Doppler considerables.	SW	Muy baja

El modo A está relacionado con las condiciones de propagación que no afectan de forma severa la señal, al presentarse mínimos desvanecimientos; además, en comparación con los demás, el modo A permite al sistema operar con velocidades de transmisión de datos de hasta 24 Kbps, permitiendo transmitir mayor información útil, con una robustez mínima.

En contraste, el modo de robustez D es utilizado en condiciones de propagación en el cual los efectos del canal inciden altamente en la señal. Debido a estas condiciones, en este modo se presenta una reducción considerable de la velocidad de transmisión de datos a 12 Kbps. En el sistema DRM, la cantidad de información útil transmitida está limitada por la selección del modo de robustez.



La configuración de los parámetros OFDM que permiten establecer los modos de robustez se muestran en la tabla 1.4.

**Tabla 1.4 Relación entre la Lista de Parámetros de OFDM y los Modos de Robustez [3].**

Modos de robustez	Lista de parámetros de OFDM				
	Fu (Hz)	Tu (ms)	Tg (ms)	Ts (ms)	Símbolos OFDM
<b>A</b>	41,6	24	2,66	26,66	15
<b>B</b>	46,9	21,33	5,33	26,66	15
<b>C</b>	68,5	14,66	5,33	20	20
<b>D</b>	107,5	9,33	7,33	16,66	24

Se debe tener en cuenta que dependiendo del modo de transmisión y del tipo de ocupación del espectro, cada símbolo puede contener un determinado número de sub-portadoras, como se indica en la tabla 1.5.

**Tabla 1.5 Número de Sub-Portadoras Según el Modo y la Ocupación del Espectro [3].**

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

## 1.9 EXPERIENCIAS DE LA UTILIZACIÓN DEL SISTEMA DRM EN OTROS PAISES

A continuación se describen algunas de las pruebas realizadas utilizando el sistema DRM en México, Brasil y España. El análisis de estas experiencias está enfocado en el proceso de clasificación y comparación de los resultados obtenidos, dependiendo de la banda utilizada (se realiza una descripción detallada de estas experiencias en las secciones 6, 7 y 8 del anexo 1).

### 1.9.1 Pruebas Realizadas en la Banda SW

Se analizaron las pruebas efectuadas en México y Brasil, en donde se utilizó la banda de radiodifusión de 26 MHz; se tienen en cuenta aspectos como las características técnicas de transmisión, modos de robustez y entornos, entre otros. Tomando como base estas pruebas, se efectúa una comparación entre las características del estándar y los resultados obtenidos en el transcurso de su desarrollo, condensando esta información en las tablas 1.6, 1.7, y 1.8.



**Tabla 1.6 Características Técnicas Utilizadas en la Transmisión (SW) [8] [9]**

	México	Brasil
<b>Centro de transmisión</b>	Santa Fe	Cámara de diputados
<b>Radiodifusor</b>	Radio Educación	
<b>Coordenadas</b>	99°15,920´W; 19°22,071´N	15°41´34,0´´S; 47°51´15,2´´W
<b>Frecuencia (MHz)</b>	25,620	25,885
<b>Altitud (m)</b>	300	100
<b>Potencia promedio (W)</b>	200	200
<b>Ganancia de antena (dBi)</b>	7	7
<b>Altura del mástil (m)</b>	62	
<b>Altura de la antena</b>	40	

**Tabla 1.7 Otros Aspectos Tenidos en Cuenta en las Pruebas (SW) [8] [9]**

	México	Brasil
<b>Ancho de banda (KHz)</b>	18	18
<b>Mecanismo de propagación</b>	Troposférica	Troposférica
<b>Tipo de mediciones</b>	Fija y móvil	Fija y móvil
<b>Tipos de entornos</b>	4	4
<b>Número de rutas</b>	5	8
<b>Modo más utilizado</b>	B/16/4/0,5 <sup>7</sup>	B/16/4/0,5
<b>Parámetros medidos</b>	Mínima intensidad de campo utilizable ( $E_{min}$ )	Mínima intensidad de campo utilizable ( $E_{min}$ )
	Relación señal/ruido (S/N) <sup>8</sup>	Tasa de error de modulación (MER) <sup>9</sup>
	Calidad de audio objetiva	Calidad de audio objetiva

**Tabla 1.8 Resultados Obtenidos para el Modo de Robustez B en SW [8] [9]**

	Recepción fija	
	México	Brasil
$E_{min}$	37 dB $\mu$ V/m	35 dB $\mu$ V/m
<b>Relación S/N y MER para Brasil</b>	18 dB	13 dB
<b>Calidad de audio (%)</b>	98,71	≥98
<b>Cobertura (Km)</b>	Hasta 20	Hasta 20, sin considerar dos mediciones

<sup>7</sup>B/16/4/0,5 Modo de transmisión B con 16-QAM para MSC, 4-QAM para SDC y una tasa de codificación igual a 0,5.

<sup>8</sup>Relación Señal a Ruido (S/N, *Signal Noise Ratio*). Relación que existe entre la potencia de la señal de transmisión y la potencia de ruido.

<sup>9</sup>Tasa de Error de Modulación (MER, *Modulation Error Rate*). Factor que indica la exactitud de una constelación digital. Equivale a la información proporcionada por la S/N para las modulaciones analógicas.



	realizadas en 35	
	Recepción móvil	
	México (10K_B/16/4/0,5)	Brasil (B-21)
<b>Mínima intensidad de campo utilizable</b>	38 dB $\mu$ V/m	>38 dB $\mu$ V/m
<b>Relación S/N (MER)</b>	18 dB	14 dB
<b>Calidad de audio (%)</b>	95,75	>98
<b>Cobertura (Km)</b>	Hasta 20, pero hubo buena recepción en 45	Entre 10 - 19

### 1.9.1.1 Conclusiones de las pruebas realizadas en México y Brasil

- En México, al utilizar la propagación troposférica los niveles de la señal recibidos fueron variables en el entorno urbano, debido al efecto multitrayecto; además, se presentó desvanecimiento plano en el canal de propagación, siendo necesario en un futuro la introducción de SFN para reducir estos efectos.
- En Brasil uno de los peores escenarios fue el ambiente urbano, debido a que se recibió una menor intensidad de campo eléctrico (mínima intensidad de campo eléctrico utilizable). También, aunque se haya utilizado un modo de transmisión más robusto (B-21), se presentaron algunas interrupciones de audio en las regiones de mayor densidad de edificaciones.
- Se demostró que los modos A y B son robustos frente a la dispersión Doppler, y a los efectos del multitrayecto como la dispersión del retardo.
- Una mayor robustez implica una disminución en la velocidad de transmisión de datos es decir menor cantidad de bits de información útil recibida por unidad de tiempo, pero se obtiene mejor fidelidad debido a que hay más información de redundancia utilizada en la detección de errores en el sistema; por lo tanto, los niveles más altos de robustez aseguran buena recepción de la información pero las velocidades de transmisión de datos no permiten transmitir audio con calidad estéreo.
- El ruido y el entorno fueron factores importantes que incidieron en la determinación del comportamiento de la señal, y en la especificación de los valores de mínima intensidad de campo utilizable ( $E_{min}$ ).
- En las pruebas realizadas en ambos países, la relación S/N lograda está dentro de los parámetros definidos en la ITU-R; en cuanto al  $E_{min}$  obtenido en México y Brasil, fue inferior a lo que se requiere en las transmisiones con AM. Igualmente, los resultados para la calidad de audio objetiva están dentro de las recomendaciones de la ITU -R [26].

### 1.9.2 Pruebas Realizadas en la Banda MW

Se tuvieron en cuenta para la banda de MW las pruebas efectuadas en España, específicamente en la ciudad de Madrid. Los parámetros utilizados junto con los resultados obtenidos se presentan en las tablas 1.9, 1.10, y 1.11.



**Tabla 1.9 Características Técnicas Utilizadas en la Transmisión (MW) [10]**

	<b>España</b>
<b>Centro de transmisión</b>	Pozuelo de Alarcón
<b>Frecuencia (KHz)</b>	1260
<b>Potencia utilizada (KW)</b>	10

**Tabla 1.10 Otros Aspectos Tenidos en Cuenta en las Pruebas (MW) [10]**

	<b>España</b>
<b>Ancho de banda (KHz)</b>	9
<b>Mecanismo de propagación</b>	Superficie
<b>Tipo de mediciones</b>	Fija y móvil
<b>Tipos de zonas</b>	4
<b>Puntos medidos</b>	52
<b>Modo más utilizado</b>	A/64/16/0,6 <sup>10</sup>
<b>Parámetros medidos</b>	Relación S/N
	Calidad de audio objetiva

**Tabla 1.11 Resultados Obtenidos para el Modo de Robustez más Utilizado (MW) [10]**

	<b>Recepción fija</b>	<b>Recepción móvil</b>
<b>Relación S/N (dB)</b>	18	20
<b>Calidad de audio (%)</b>	98,08	>98
<b>Cobertura (Km)</b>	Hasta 15 desde el transmisor	

### 1.9.2.1 Prueba *simulcast*

En las pruebas realizadas en la ciudad de Madrid la transmisión fue *simulcast*, obteniendo los resultados presentados en las tablas 1.12, 1.13, 1.14 y 1.15.

**Tabla 1.12 Características Técnicas Utilizadas en la Transmisión *Simulcast* (MW) [10]**

		<b>España – <i>Simulcast</i></b>
<b>Potencia de Transmisión (KW)</b>	<b>AM</b>	10
	<b>DRM</b>	0,25
<b>Relación de Potencias (dB)</b>		16 <sup>11</sup>

**Tabla 1.13 Otros Aspectos Tenidos en Cuenta en la Prueba *Simulcast* (MW) [10]**

	<b>España - <i>Simulcast</i></b>	
<b>Ancho de banda (KHz)</b>	9	
<b>Mecanismo de propagación</b>	Superficie	
<b>Tipo de mediciones</b>	Fija y móvil	
<b>Tipos de zonas</b>	6	
<b>Número de puntos medidos</b>	32 - AM	33 - DRM
<b>Modo más utilizado</b>	A/64/16/0,6	

<sup>10</sup>A/64/16/0,6 Modo de transmisión A con 16-QAM para MSC, 16-QAM para SDC y una tasa de codificación igual a 0,6.

<sup>11</sup>Relación de potencias. Es la relación entre la potencia analógica y digital para que no interfieran entre sí. Para este caso es de 16 dB.



Parámetros medidos	Relación S/N
	$E_{min}$

Tabla 1.14 Resultados Obtenidos en la Transmisión *Simulcast* para la señal AM [10]

	Recepción fija	Recepción móvil
Relación S/N (dB)	-	-
$E_{min}$ (dB $\mu$ V/m)	-	-
Cobertura (Km)	Hasta 13	

Tabla 1.15 Resultados Obtenidos para la Transmisión *Simulcast* para DRM [10]

	Recepción fija	Recepción móvil
Relación S/N (dB)	18	-
$E_{min}$ (dB $\mu$ V/m)	43	-
Cobertura (Km)	Hasta 7 en zonas semiurbanas. Se puede lograr un poco más.	

### 1.9.2.2 Conclusiones de las pruebas realizadas en España

- Con la potencia de 10 KW utilizada en las primeras pruebas, se logró un buen nivel en la señal de recepción, al utilizar la tecnología de radiodifusión digital.
- En la determinación de las mediciones se tuvo en cuenta factores como el ruido hecho por el hombre, la obstrucción por la altura de los edificios, el ancho de las calles, los puentes, los túneles, entre otros.
- Al comparar los valores de S/N suministrados por la ITU-R [16], con los obtenidos en las pruebas analizadas, se observa el buen desempeño del sistema en diferentes escenarios de propagación, ya que los valores de S/N obtenidos fueron mayores a los recomendados.
- En estas pruebas, los valores de  $E_{min}$  no se especificaron, debido a que dependen de los valores del ruido radioeléctrico, que fueron muy variables y altos en comparación con los recomendados por la ITU.
- Para transmisión *simulcast* es necesario que exista una diferencia de potencias de 16 dB entre la señal analógica y la digital. El nivel de potencia de la señal analógica debe ser mayor al nivel de potencia de la señal digital.
- La potencia utilizada por DRM en *simulcast* fue demasiado baja para cubrir la ciudad de Madrid, contrario a lo presentado en la prueba que utilizó el sistema con AM, que permitió un mayor número de puntos en la recepción. Se puede incrementar la potencia de DRM, corriendo el riesgo de interferir la señal analógica, debido a que la relación de potencias no se cumpliría.
- Se necesitó una mayor  $E_{min}$  en la recepción fija para DRM *simulcast* en comparación con la suministrada por la ITU, ya que los niveles de ruido presentes en la ciudad de Madrid son superiores a los estipulados por la misma recomendación.
- Por la variabilidad de la señal en los escenarios de recepción fijos y móviles empleando el sistema con AM *simulcast*, no se logró obtener una medida de S/N ni de  $E_{min}$ .



*Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez*

- En la transmisión *simulcast* jugaron un papel importante las características del entorno (denso y semi-urbano) en los resultados de la calidad de audio.

La información que conforma la base teórica, permite relacionar la configuración de los diferentes parámetros de transmisión con los fenómenos de propagación presentes y el ancho de banda utilizado, útil para determinar la compatibilidad del sistema digital con el actual sistema de radiodifusión analógico, y así efectuar la comparación del estándar DRM con otros sistemas de radiodifusión digital creados con el fin de operar en las bandas de frecuencias de MW y SW, temáticas que se desarrollarán en el capítulo siguiente. Además, el análisis de las experiencias, posibilita comparar las características de los escenarios utilizados con el entorno colombiano. Por estas razones la información presentada en este capítulo, se establece como una base que facilita el alcance del objetivo de este trabajo de grado.





## **CAPITULO II – DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE RADIODIFUSIÓN SONORA EN ONDA MEDIA Y ONDA CORTA**

El estudio de los estándares desarrollados para radiodifusión sonora en MW y SW, es importante para establecer cuál de estas tecnologías es más eficaz al momento de contrarrestar los fenómenos de propagación en frecuencias inferiores a los 30 MHz, para la transmisión de audio digital y servicios de valor agregado.

En este capítulo se presentan los dos estándares especificados por la ITU para sistemas que operan en las bandas de MW y SW, dentro de los cuales se encuentra el sistema de Funcionamiento en la Banda y en el mismo Canal (IBOC, *In Band On Channel*) impulsado por los Estados Unidos, que al igual que el sistema bajo el estándar europeo DRM, introduce las etapas de codificación de fuente, multiplexación, codificación de canal, modulación, mezclado y transmisión, que son analizados a continuación.

### **2.1 ESTÁNDARES DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL DRM E IBOC-AM**

DRM e IBOC-AM, ofrecen tecnologías con modernos métodos de transmisión digital en el mismo conjunto de frecuencias asignado para la radiodifusión sonora de gran cobertura (menor a 30 MHz), que reducen al mínimo los efectos de canal a los que se someten las señales en estas frecuencias [16]. IBOC-AM fue creado para operar en la banda de MW comercial mientras que DRM trabaja en MW, SW y LW.

Los dos sistemas hacen uso del esquema de transmisión OFDM, que permite el envío de fragmentos de la información en múltiples sub-portadoras de baja capacidad, que son moduladas con diferentes constelaciones QAM, para luego combinarse y formar un flujo de información de alta capacidad. Adicionalmente, la información pasa por una etapa de codificación de fuente, de canal y mezclado, que proporcionan robustez frente a los fenómenos de propagación que afectan a las señales con frecuencias inferiores a los 30 MHz.

#### **2.1.1 Estándar IBOC**

Este es un sistema para radiodifusión sonora digital desarrollado por iBiquity Digital Corporation, y adoptado en el año 2005 por el Comité Nacional de Sistemas de Radio de los Estados Unidos (NRSC, *National Radio Systems Committee*) [11].

IBOC puede utilizar las bandas en las que operan actualmente los sistemas analógicos de radiodifusión en FM y AM, por lo que no es necesario que las emisoras existentes tengan que adquirir nuevas frecuencias de operación. Con esta tecnología, las radioemisoras de AM y FM pueden transmitir de manera simultánea su programación en los formatos digital y analógico en el mismo canal, sin que se presente una interferencia intolerable entre las señales, reduciendo el impacto económico tanto a operadores como a radioescuchas durante el periodo de migración a la radiodifusión digital [11].

##### **2.1.1.1 Modos de transmisión y utilización del espectro**

La cantidad de receptores analógicos adquiridos por el público hasta el momento, el costo de los nuevos receptores digitales, así como las grandes inversiones en adquisición de tecnología que tendrían que hacer los operadores para mantenerse al aire, hacen



imposible la digitalización a corto plazo de la radiodifusión AM. En gran medida el cambio depende de aspectos como:

- La migración gradual que garantice a los dueños de las emisoras la reutilización y adecuación de la tecnología analógica existente, reduciendo en gran medida la inversión económica.
- La posibilidad de no perder la audiencia lograda antelas dificultades de adquisición de los receptores digitales, manteniendo en el proceso de migración la posibilidad de realizar emisiones simultáneas de información en formato digital y analógico.

Pensado en esto, para operar en la banda de MW<sup>12</sup>, IBOC define el Modo de Transmisión Híbrido y el Modo de Transmisión Totalmente Digital.

- Transmisión Híbrida. Permite la transmisión del programa en los formatos analógico y digital en el mismo canal y de manera simultánea. Para su funcionamiento, la señal híbrida se acomoda en un ancho de banda de 15 KHz. La sub-portadora principal del canal se modula en AM de Doble Banda Lateral con Portadora Completa (DSB-FC, *Double Side Band Full Carrier*), para enviar el audio en forma analógica en un rango de frecuencias de  $\pm 5$  KHz ó  $\pm 8$  KHz [11].

La información digital se envía también sobre el mismo canal, dividido en un total de seis sub-bandas distribuidas simétricamente a la derecha y a la izquierda de la portadora principal, denominadas bandas primaria superior, secundaria superior, terciaria superior, primaria inferior, secundaria inferior y terciaria inferior. Las tres sub-bandas superiores contienen 81 sub-portadoras numeradas de 1 a 81, tomando como sub-portadora cero la portadora principal.

La tabla 2.1 contiene la distribución de las sub-portadoras así como el desplazamiento en Hz desde la frecuencia central (0 Hz). Hay que agregar que las sub-portadoras 54 a 56 y -54 a -56 no contienen información, con el fin de evitar la interferencia de canal adyacente [11]. Otra especificación para la distribución de la información en la banda, indica que parte de la información digital utilizada para lograr el efecto estereofónico es ubicada en las sub-bandas terciarias. Las figuras 2.1 y 2.2 muestran cómo se distribuye el espectro de la señal híbrida.

Las sub-portadoras digitales son espaciadas entre ellas  $\Delta f = 1488375/8192$  Hz, a partir de la frecuencia central del canal tomada como referencia, garantizando que las sub-portadoras estén ortogonalmente espaciadas incluyendo a la portadora central. Además, para minimizar las interferencias con el canal analógico y con los canales adyacentes, la potencia de las sub-portadoras se ajusta a los niveles relativos respecto a la portadora AM [11].

---

<sup>12</sup>También llamado IBOC-DSB porque transmite en doble banda lateral.

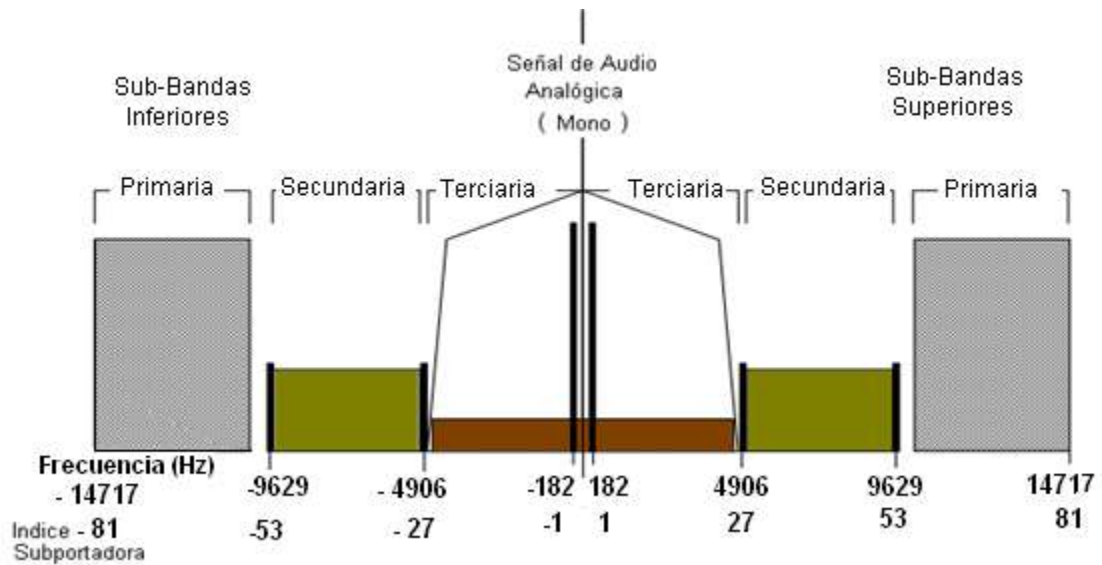


Figura 10 Espectro de Frecuencias de Modo Híbrido para IBOC-DSB (Configuración de 5KHz) [11]

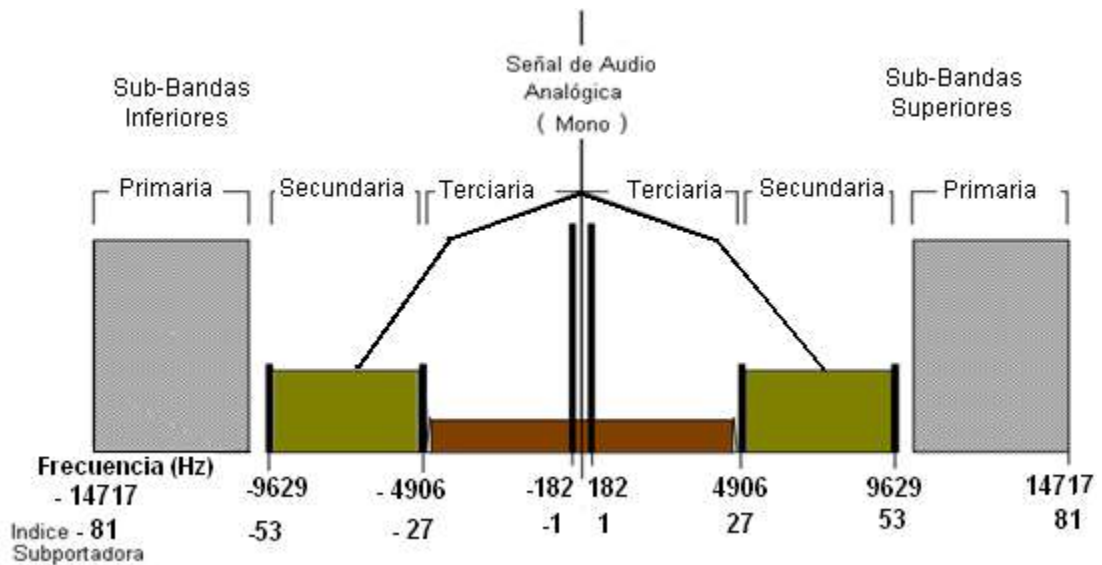


Figura 11 Espectro de Frecuencias de Modo Híbrido para IBOC-DSB (Configuración de 8 KHz) [11]

Tabla 16 Características de la Forma de Onda Híbrida [11].

Banda	Rango de Sub-portadoras	Rango de Frecuencias (Hz)
Banda Lateral Primaria superior	57 a 81	10356,1 a 14716,6
Banda Lateral Primaria inferior	-57 a -81	-10356,1 a -14716,6



<b>Banda Lateral Secundaria superior</b>	28 a 52	5087,2 a 9447,7
<b>Banda Lateral Secundaria Inferior</b>	-28 a -52	-5087,2 a -9447,7
<b>Banda Lateral Terciaria Superior</b>	2 a 26	363,4 a 4723,8
<b>Banda Lateral Terciaria Inferior</b>	-2 a -26	-363,4 a -4723,8
<b>Referencia del Estado y Control Superior</b>	1	181,7
<b>Referencia del Estado y Control Inferior</b>	-1	-181,7
<b>IDS 1<sup>13</sup></b>	27	4905,5
<b>IDS 1*</b>	-27	-4905,5
<b>IDS 2</b>	53	9629,4
<b>IDS 2*</b>	-53	-9629,4

- Modo Totalmente Digital. En este modo de funcionamiento la señal analógica es suprimida en su totalidad, por tanto no hay necesidad de modular la portadora principal y solo se transmite como referencia. Al reemplazar la señal analógica por las bandas laterales primarias que contienen la información básica de audio, parte de la potencia que era utilizada para transmitir la señal analógica se emplea para aumentar el nivel de las sub-portadoras digitales. El número de sub-portadoras en este modo de funcionamiento se reduce a 52, ya que solo se transmite la sub-banda lateral secundaria superior, la lateral terciaria inferior y las laterales primarias superior e inferior.

La sub-banda terciaria inferior desplaza su espectro al lugar que utilizaba la sub-banda lateral secundaria inferior en el anterior modo de transmisión. Las sub-bandas primarias contienen las sub-portadoras de la 2 a la 27, y desde la sub-portadora -2 hasta la -27. En las sub-bandas secundaria superior y terciaria inferior que contienen las sub-portadoras 28 a 52 y -28 a -52 respectivamente, se envía el audio mejorado. La figura 2.3 muestra la distribución del modo totalmente digital [11].

<sup>13</sup> Información de Servicio de IBOC (IDS, *IBOC Data Service*). Transporta la información de identificación de la estación.

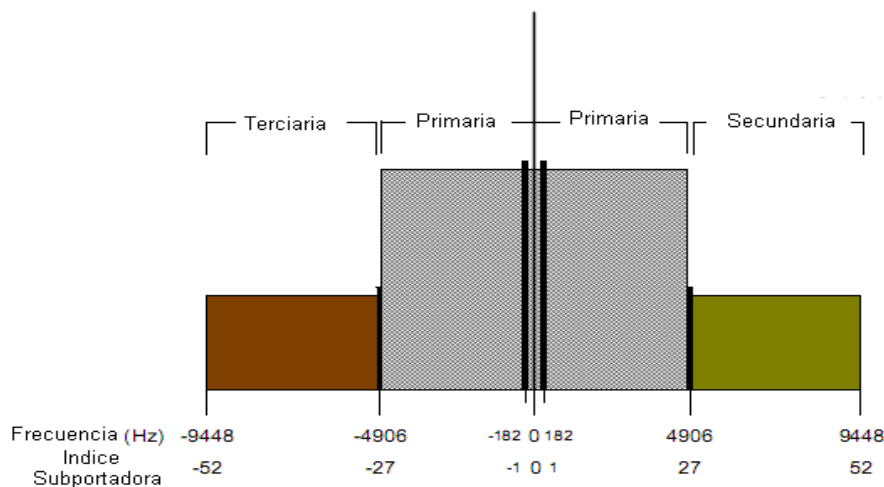


Figura 12 Espectro de Frecuencias de Modo Totalmente Digital [11].

La tabla 2.2 resume las características espectrales de la señal totalmente digital.

Tabla 17 Características del Espectro de la Señal Totalmente Digital [11]

Banda	Rango de Sub-portadoras	Rango de Frecuencias (Hz)
Lateral Primaria superior	2 a 26	363,41 a 4723,8
Lateral Primaria Inferior	-2 a -26	-363,41 a -4723,8
Lateral Secundaria superior	28 a 52	5087,2 a 9447,7
Lateral Terciaria Inferior	-28 a -52	-5087,2 a -9447,7
Referencia del Estado y Control Superior	1	181,7
Referencia del Estado y Control Inferior	-1	-181,7
IDS 1	27	4905,5
IDS 2	-27	-4905,5

### 2.1.1.2 Diagramas en bloques del sistema de transmisión de IBOC AM

El bloque de transmisión del sistema de radiodifusión digital IBOC AM, presentado en la figura 2.4, se divide en tres sub-sistemas principales denominados de Entrada de Audio y Datos, de Transporte y Servicio Multiplex, y de Transmisión de RF.

#### 2.1.1.2.1 Subsistema de entrada de audio y datos

Mediante técnicas de codificación y compresión, el audio y los datos que van a conformar los múltiples servicios, se adaptan a las características digitales con velocidades de transmisión de datos adecuadas para el ancho de banda disponible en los sistemas de



radiodifusión sonora que operan en las bandas de MW, con una degradación de audio mínima.

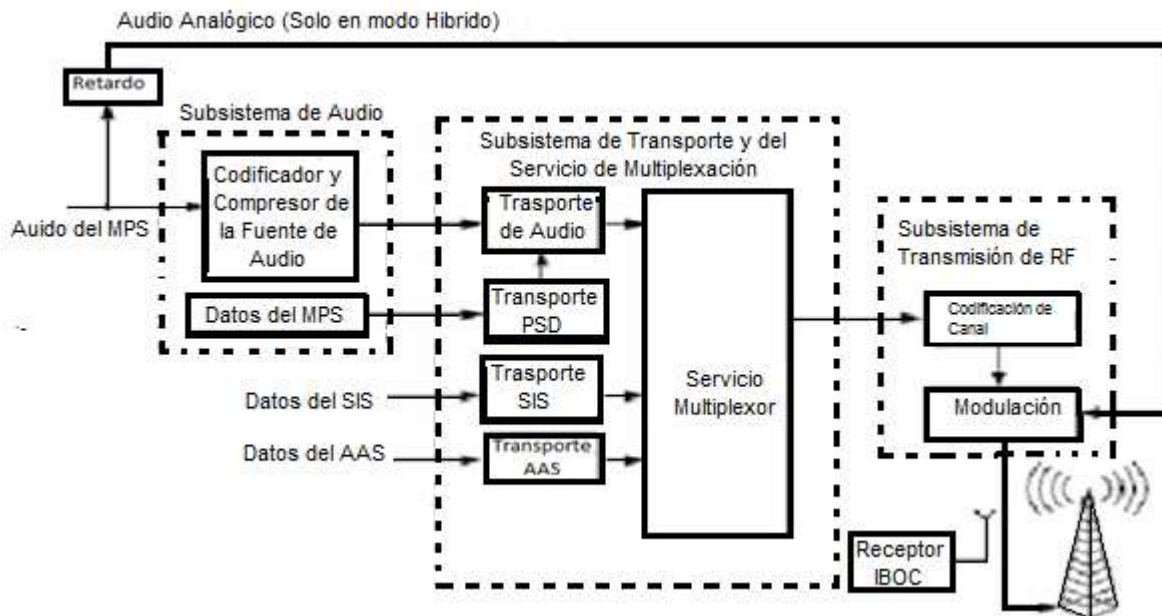


Figura 13 Diagrama Funcional Sistema Transmisión IBOC AM

### 2.1.1.2.2 Subsistema de transporte y servicio de multiplexación

Este bloque recibe toda la información del sub-sistema de entrada de audio y datos, y la organiza en paquetes para conformar el Servicio de Programa Principal (MPS, *Main Program Service*), el Servicio de Identificación de la Estación (SIS, *Station Identification Service*) y el Servicio de Datos Avanzado (ADS, *Advanced Data Service*), que posteriormente son sometidos a un proceso de multiplexación para conformar un solo flujo de bits.

- MPS. Contiene la programación de audio principal que se transmite en la señal analógica, y adiciona los datos relacionados con el programa como nombre del artista, nombre de la canción, entre otros.
- SIS. Proporciona los datos necesarios para que los usuarios puedan seleccionar las estaciones de radio digital, suministrándoles información general relacionada y no relacionada con la programación.
- ADS. Por medio de este servicio es posible el envío de información no relacionada con MPS o SIS, tal como efectos visuales, presentaciones multimedia de programas (asociados a las noticias, el tiempo, entretenimiento), publicidad, entre otras aplicaciones.

### 2.1.1.2.3 Subsistema de transmisión

El flujo multiplexado que entrega el sub-sistema de transporte, pasa a conformar tramas que se distribuyen en cuatro canales lógicos principales P1, P2, P3 y el de Servicio de



Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez

Datos Primario (PIDS, *Primary Data Service Logical Channel*), que son sometidos a los procesos de entrelazado y codificación para mitigar el efecto de los fenómenos de propagación. En la banda MW, el canal lógico P1 transporta el audio principal, y el P3, el audio mejorado, para lograr la señal estéreo; el PIDS es el encargado de transportar el SIS [11].

Luego cada flujo de bits se mapea en una constelación QAM, posteriormente se traslada el espectro a frecuencias de la banda MW.

## 2.1.2 Estándar DRM.

En el capítulo 1 se abarcaron aspectos técnicos relacionados con el estándar DRM, utilizados en esta sección para realizar una descripción de las características de transmisión, las cuales permiten efectuar una comparación entre los estándares que operan en esta banda.

### 2.1.2.1 Protocolo de información y distribución de servicios

El Protocolo de Comunicación y Distribución (DCP, *Distribution and Communications Protocol*) creado por el consorcio DRM y que fue estandarizado por la ETSI, define las interfaces que permiten la comunicación entre los sub-módulos del sistema DRM como se observa en la figura 2.5 [12].

- Interfaz para la Distribución del Servicio (SDI, *Service Distribution Interface*). Permite la conexión entre codificadores de audio/datos al multiplexor DRM.
- Interfaz de Distribución Múltiple (MDI, *Multiplex Distribution Interface*). Conecta el sub-módulo multiplexor DRM con el modulador DRM.
- Interfaz de Control del Modulador (MCI, *Modulator Control Interface*). Permite configurar los parámetros del modulador DRM tales como la frecuencia del transmisor, la potencia, el retardo entre otros.

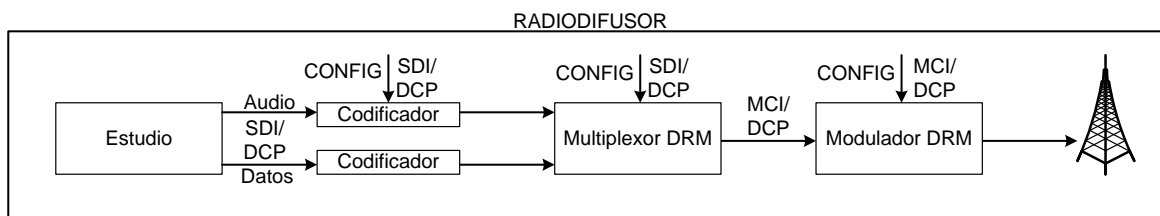


Figura 14 Aplicación de las Interfaces del Protocolo DCP

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

Teniendo en cuenta que los anchos de banda para los canales de audio, que utilizan para su transporte las bandas con frecuencias inferiores a 30 MHz son 9 KHz y 10 KHz según la zona designada por la ITU, el sistema DRM puede operar con:

- Anchos de banda nominales de la actual asignación de canales radioeléctricos para radiodifusión sonora en el país, en frecuencias inferiores a 30 MHz.



Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez

- Doble de anchos de banda nominales (18 KHz o 20 KHz) para proporcionar una mayor capacidad de transmisión, siempre y cuando el plan de adjudicación de frecuencias del país donde se implemente brinde esta facilidad.

Gráficamente, estas ocupaciones del espectro se pueden observar en la figura 2.6 para anchos de banda en la región 2. El número de sub-portadoras que componen la señal DRM varía de acuerdo al tipo de ocupación del espectro y del modo de robustez que se esté utilizando, pero es importante notar que las sub-portadoras que transportan la información del FAC están siempre a la derecha de la frecuencia de referencia [1].

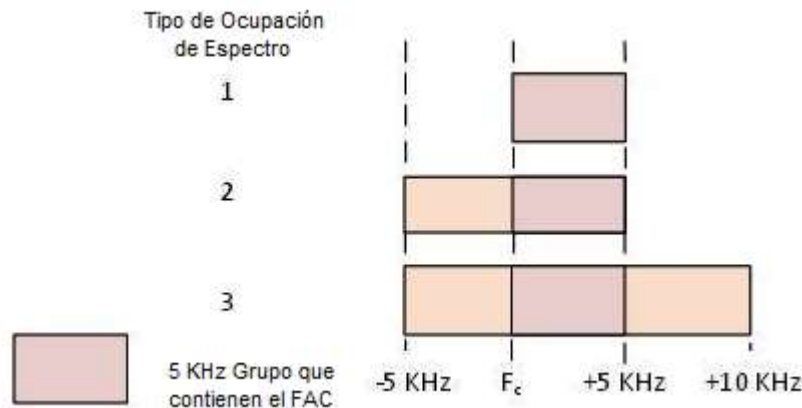


Figura 15 Ocupación del Espectro de la Señal DRM para la Región 2

### 2.1.2.3 Transmisión simultánea de AM y DRM

Los estándares de radiodifusión sonora digital deben considerar como parte importante de su diseño, la posibilidad de una migración gradual tanto a radiodifusores como a los radioescuchas; el estándar DRM no es la excepción a esta condición y describe varias alternativas de transmisión híbrida [1] [12].

- En la figura 2.7 A) se tiene una ocupación del espectro de 20 KHz que contiene la señal analógica y la señal digital, donde la señal digital puede ir ubicada a la derecha o izquierda de la señal AM, manteniendo una separación entre sub-portadoras de 9 KHz ó 10 KHz.
- En la Figura 2.7 B) la señal analógica utiliza AM de Banda Lateral Única con Portadora Completa (SSB-FC, *Single Side Band Full Carrier*) (5 KHz), por lo que el ancho de banda total es de 15 KHz. Las dos terceras partes corresponden a la señal DRM y la tercera restante a la señal analógica.
- Además, la señal DRM puede ir distribuida en un ancho de banda de 18 ó 20KHz y la señal AM estar modulada en DSB, por lo que el ancho de banda total necesario para la transmisión sería 28 ó 30 KHz como se indica en la figura 2.7 C).
- El mínimo ancho de banda para transmisión *simulcast* es de 10 KHz, donde se dispone de 5KHz la información digital y en los 5 KHz restantes se envía el audio analógico. La figura 2.7D) muestra esta distribución de las señales analógicas y digitales que conforman el espectro *simulcast*.



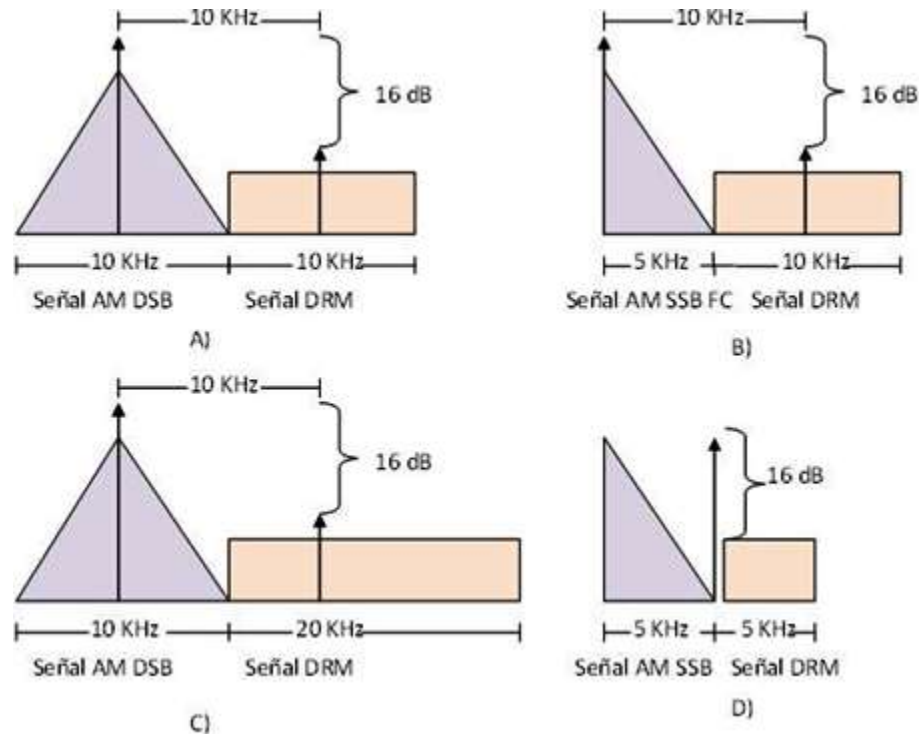


Figura 16 Espectro de Frecuencias para Transmisión Simultánea DRM y AM

## 2.2 COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS DRM E IBOC

La comparación de las tecnologías existentes para radiodifusión de audio que operan en las bandas menores a 30 MHz, permite evidenciar sus fortalezas y debilidades, además de complementar el análisis técnico de los sistemas de radiodifusión digital operando en las bandas de interés para este trabajo de grado.

### 2.2.1 Codificación de Fuente

DRM e IBOC hacen uso de la codificación AAC complementada con la técnica SBR, facilitando la transmisión de audio monofónico y estereofónico dentro de las restricciones de ancho de banda para MW.

En el desarrollo del sistema IBOC se han empleado dos tipos de codificador de audio que son el Codificador de Audio Perceptual (PAC, *Perceptual Audio Coder*) de Lucent, y el Codificador de Alta Definición (HDC, *Hybrid Digital Coding*) desarrollada por la empresa Coding Technologies.

- PAC. Es un codificador de audio propietario utilizado por IBOC en los inicios de su implementación, sin que se obtuvieran resultados óptimos en MW, ya que no se logró la calidad de audio exigida por los sistemas de radiodifusión digital.

Este sistema de codificación muestrea el audio analógico a una frecuencia de 44,1 KHz y elimina toda la información que el oído humano no puede captar hasta lograr una compresión de 6 Kbps en baja calidad. Para velocidades de transmisión de datos de 6 a 8 Kbps, la calidad es similar a la que se obtiene de los sistemas



analógicos de AM; de 16 a 24 Kbps ofrecen una calidad que se asemeja a los sistemas FM [11].

- HDC. Reemplazó al codificador PAC y es una versión del codificador AAC plus, es decir, es la técnica AAC complementada con SBR, la cual permite a IBOC la transmisión de música a una velocidad de transmisión datos de 36 Kbps y requiere de velocidades de transmisión de datos menores, si se trata de audio y datos [11].

La tabla 2.3 resume las características de las velocidades de transmisión de datos del sistema IBOC AM para sus diferentes tipos de servicios [11].

**Tabla 18 Velocidades de Transmisión de Datos nominales de los Canales Lógicos en IBOC AM**

Modo de Funcionamiento	Tipo de Flujo	Velocidades de Transmisión de Datos
Hibrido	Audio Principal (P1)	20 Kbps
	Audio Mejorado (P3)	16 Kbps
	PIDS	0,4 Kbps
Totalmente Digital	Principal	20 Kbps
	Mejorado	20 Kbps
	PIDS	0,4 Kbps

Por su parte el sistema DRM codifica el audio con AAC, CELP y HVXC como se describió en el capítulo 1. La tabla 2.4 resume las diferentes velocidades de transmisión de datos para éste estándar [1].

**Tabla 19 Velocidades de Transmisión de Datos nominales de los Principales en DRM**

Codificador	Frecuencia de Muestreo (KHz)	Velocidades de Transmisión de Datos Nominales (Kbps)
<b>AAC</b>	12 y 48	Mayores o iguales 20
<b>AAC + SBR</b>	12 y 48	Hasta 72
<b>CELP</b>	8 y 16	12
<b>CELP + SBR</b>	8 y 16	4 a 20
<b>HVXC</b>	8	2 y 4
<b>HVXC + SBR</b>	8	4

- La utilización de la codificación AAC permite a IBOC y a DRM ofrecer una calidad de audio comparable con el MP3, con una velocidad de transmisión de datos menores, lo que sin duda es una ventaja importante cuando los anchos de banda disponibles para la transmisión en MW son reducidos.
- El empleo de los procesos de codificación CELP y HVXC por parte de DRM permite la transmisión de voz digitalizada, a muy bajas velocidades de transmisión de datos con pocas pérdidas, lo que hace posible enviar voz en un ancho de banda de 4,5 KHz.



## **2.2.2 Codificación de Canal**

IBOC y DRM utilizan codificación convolucional para corrección de errores, y entrelazado para alcanzar un alto nivel de fiabilidad de la información transmitida. La codificación convolucional añade cuidadosamente bits de redundancia al mensaje original sin la necesidad de retransmisiones, útil en aplicaciones que no pueden esperar a que el transmisor envíe nuevamente la información. A este proceso se añaden técnicas de entrelazado para dispersar los errores en ráfagas en el tiempo y en la frecuencia [1] [11].

## **2.2.3 Esquema de Transmisión Multiportadora**

OFDM es el esquema de transmisión multiportadora utilizado ampliamente por los sistemas de radiodifusión digital, ya que permite hacer un uso eficiente del ancho de banda asignado al canal.

### **2.2.3.1 Esquema de transmisión en IBOC AM**

En el modo híbrido, el ancho de banda de la señal analógica es de 5 KHz y no es suficiente para ofrecer audio con calidad estéreo en AM; con el audio digitalizado es posible lograr este efecto, porque se puede enviar el audio mejorado en ciertas sub-portadoras y el audio principal en otras.

Sobre las sub-bandas primarias se envía el canal lógico P1, que transporta el programa de audio porque son moduladas con el esquema 64-QAM para alcanzar altas velocidades de transmisión de datos; el canal lógico P3, que transporta el audio mejorado, se envía sobre las sub-bandas secundarias y terciarias. Cada una de las sub-bandas secundarias son moduladas con 16-QAM; las sub-bandas terciarias se modulan con esquemas de Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura (QPSK, Quadrature Phase Shift Keying), que también es usado para modular la información que se envía en las sub-portadoras de referencia. Las PIDS se modulan con 16-QAM. Los anteriores esquemas también se aplican en las sub-bandas definidas para el modo de transmisión totalmente digital [11].

### **2.2.3.2 Esquema de transmisión DRM**

En este sistema se utiliza el esquema de modulación QAM para los distintos canales de servicio MSC, FAC y SDC; las sub-portadoras del canal de servicio principal MSC pueden utilizar los esquemas de modulación digital 64-QAM, que proporciona mayor eficiencia espectral, y 16-QAM que proporciona las características más robustas con diferentes niveles de protección frente a errores. Para el canal de acceso rápido FAC, solo se utiliza la constelación 4-QAM. SDC es modulado con 16-QAM, que le proporciona mayor capacidad, o con 4-QAM que proporciona mayor robustez a las señales de este canal [1].

## **2.2.4 Cuadro Comparativo de los Estándares IBOC y DRM**

La tabla 2.5 condensa las características de los estándares digitales anteriormente descritas.

**Tabla 20 Características Generales IBOC y DRM**

<b>PARAMETROS</b>	<b>IBOC-AM</b>	<b>DRM</b>
-------------------	----------------	------------



<b>Origen</b>	Estados Unidos	Europa
<b>Bandas</b>	MW	MW, SW, LW
<b>Transmisión <i>Simulcast</i></b>	Si	Si
<b>Esquema de Transmisión</b>	COFDM Hasta 162 sub-portadoras	COFDM De 88 a 400 sub-portadoras
<b>Esquema de Modulación</b>	M-QAM, QPSK	M-QAM
<b>Velocidad de transmisión de Datos Máximas</b>	De 20 a 40 Kbps	Hasta 72 Kbps
<b>Multiplex de Servicios</b>	Si	Si
<b>Técnica de Codificación de Audio</b>	HDC (AAC + SBR)	MPEG-4, AAC+ SBR
<b>Reutilización de Transmisores Analógicos*</b>	Si	Si
<b>Tasa de Codificación Base</b>	1/3	1/4

\*El análisis de la reutilización de transmisores analógicos se describe en el capítulo 3.

### 2.3 CONCLUSIONES DE LA COMPARACIÓN IBOC Y DRM

Los aspectos técnicos sobresalientes en la determinación del estándar digital más apropiado para la introducción de la radio digital sonora en Colombia, están relacionados con: las velocidades de transmisión de datos del MSC, los modos de transmisión, la técnica de modulación, el ancho de banda y la transmisión *simulcast*, entre otros.

- Los estándares de radiodifusión sonora digital IBOC y DRM, dan a los radiodifusores la oportunidad de ofrecer este servicio con un nivel de calidad comparable a la ofrecida por los sistemas de radiodifusión FM; además, tienen la capacidad de brindar nuevos servicios denominados servicios de valor agregado.
- El funcionamiento en modo híbrido o *simulcast* permite a las emisoras la posibilidad de transmitir la señal analógica y la señal digital simultáneamente en la frecuencia asignada; es decir, tanto los usuarios con receptores analógicos como los usuarios con receptores digitales, pueden recibir el servicio en la misma banda de frecuencia, haciendo menos traumática la migración de la radio analógica a la digital.
- El estándar DRM fue desarrollado para operar en las bandas MW, SW y LW en todo el mundo, con los anchos de banda designados por la ITU, y cuenta con una extensión para trabajar en la banda de 88 a 108 MHz, en tanto que IBOC solo opera en la banda MW y en el espectro asignado para radiodifusión sonora con FM, utilizando anchos de banda fijos pero que pueden ser modificados para trabajar en anchos de banda de interés para la región 2.
- Operando con anchos de banda de 18 y 20 KHz, DRM soporta la difusión de los servicios de valor agregado en MW y SW, en tanto que IBOC solo puede emitir aplicaciones de texto básicas en la banda de FM y en la banda de MW.
- DRM permite configurar los parámetros de transmisión como tasas de codificación, constelaciones QAM, velocidades de transmisión de datos, modos de transmisión,



*Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez*

entre otros aspectos, para afrontar de forma más eficiente los fenómenos del canal que inciden sobre la señal, logrando mayor flexibilidad para adaptarse a diferentes escenarios de propagación.

- Un análisis comparativo del número de sub-portadoras y los esquemas de modulación, muestra que a diferencia de IBOC, que utiliza un número fijo de 162 sub-portadoras en modo híbrido y 104 para modo totalmente digital, DRM hace uso de un número variable de sub-portadoras que depende del tipo de ocupación del espectro, donde el número máximo de sub-portadoras es 460 y el mínimo es 88, permitiéndole al sistema DRM trabajar con varios anchos de banda que satisfacen diferentes necesidades de velocidades de transmisión de datos.
- Al analizar con detenimiento el modo de transmisión totalmente digital, en un ancho de banda de 10 KHz el sistema IBOC puede ofrecer audio con calidad semejante al ofrecido por los sistemas con FM estéreo, mientras que el sistema DRM alcanza audio digital con calidad de señal estéreo; esto haría pensar que IBOC es más eficiente, pero DRM, da la posibilidad de enviar más servicios de datos y audio operando con anchos de banda de 18 KHz y 20 KHz.

La comparación entre los sistemas de radiodifusión digital que operan en las bandas SW y MW, evidencia las fortalezas y debilidades que ofrece DRM. Esta información facilita la posterior definición y evaluación de algunos criterios necesarios en la determinación de la viabilidad de utilizar esta tecnología en el país.



### CAPITULO III- MODIFICACIONES AL TRANSMISOR ANALÓGICO Y REQUERIMIENTOS TECNICOS QUE PERMITAN LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS DRM

En la fase de adopción de un estándar de radiodifusión digital se ha dado relevancia al proceso de buscar e implementar nuevos mecanismos de adaptación, que faciliten reutilizar los dispositivos existentes al igual que la infraestructura actual, permitiendo efectuar la migración hacia un mejor servicio con nuevas funcionalidades y prestaciones, posibilitando al radioescucha contar con una radio multimedia, además de permitir al radiodifusor reducir los costos de inversión y ofrecer una variedad de servicios con mayor calidad. Es por tal razón que este capítulo se enfoca en el estudio de las modificaciones que los radiodifusores deben efectuar al estudio, al STL y al transmisor del sistema en AM, para dar lugar a la prestación de nuevos servicios de radiodifusión utilizando el estándar DRM, al mismo tiempo se tienen en cuenta los requerimientos técnicos necesarios para su posible implementación en el territorio colombiano.

#### 3.1 MODIFICACIÓN DE LOS TRANSMISORES

El sistema DRM fue desarrollado, en primer lugar, para operar en las frecuencias por debajo de 30 MHz y darles un nuevo auge en la radiodifusión; y en segundo lugar, para reutilizar la infraestructura existente, con la salvedad de realizar las modificaciones pertinentes, adaptando los transmisores analógicos de modo que puedan ser utilizados tanto para las transmisiones digitales como analógicas. Con esto se logra reducir considerablemente la inversión necesaria para la introducción de servicios DRM.

A continuación se explican los principios que se tienen en cuenta en la adaptación de los transmisores utilizados en sistemas analógicos para su operación dentro de sistemas digitales.

- Principio de generación de la señal DRM.
- Principio de comportamiento lineal en amplificación.

##### 3.1.1 Principio de Generación de la Señal DRM

Para efectuar la modificación de un transmisor genérico a uno digital, se debe realizar inicialmente un procesamiento digital a la señal; para facilitar la comprensión de este proceso es importante retomar algunos conceptos básicos sobre modulación.

La señal DRM proveniente del transmisor se puede representar mediante la ecuación (3.1) [14].

$$x(t) = A(t) \cos[w_0 t + \varphi(t)] = \Re\{A(t)e^{j\varphi(t)} e^{jw_0 t}\} = \Re\{X(t)e^{jw_0 t}\} \quad (3.1)$$

Donde [14]:

$$X(t) = A(t)e^{j\varphi(t)} \quad (3.2)$$

La función  $X(t)$  en la ecuación (3.2) representa la señal banda base. En la ecuación (3.3) se pueden observar las componentes de fase y cuadratura [14]:



$$X(t) = A(t) \cos \varphi(t) + jA(t) \sin \varphi(t) \quad (3.3)$$

Se denota las componentes en fase y cuadratura en las ecuaciones (3.4) y (3.5) respectivamente [14].

$$I(t) = A(t) \cos \varphi(t) \quad (3.4)$$

$$Q(t) = A(t) \sin \varphi(t) \quad (3.5)$$

Para obtener la señal representada mediante la ecuación 3.1, la información es mapeada en diferentes sub-portadoras que son moduladas en amplitud y fase, conformando una señal compuesta I/Q que cuenta con dos componentes individuales I(t) y Q(t) desfasadas 90°. En la figura 3.1, se refleja la forma como es generada la señal digital RF a partir de sus componentes individuales, las componentes son moduladas en amplitud y fase.

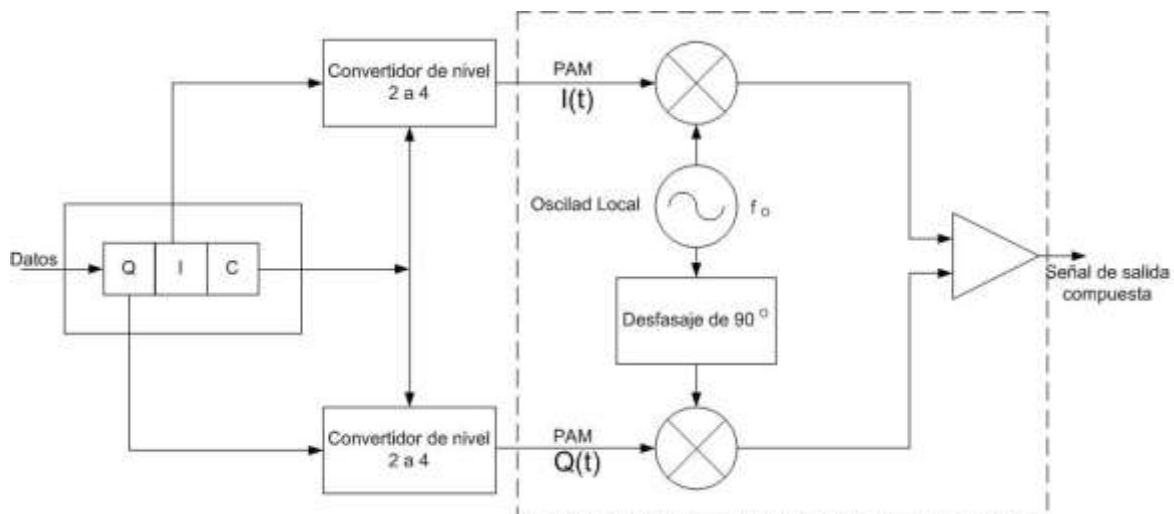


Figura 17 Etapa RF de la Señal Compuesta I/Q [14]

Inicialmente la señal compuesta en banda base  $X(t)$  se obtiene a partir de las componentes individuales de fase y cuadratura  $I(t)$  y  $Q(t)$ . El bloque desfase de 90 grados permite obtener una portadora ortogonal a la generada por el oscilador local, que posteriormente son mezcladas de forma independiente con las señales  $Q(t)$  e  $I(t)$ . Al final, las dos señales de RF individuales pasan por un sumador lineal para formar una señal compuesta representada en la ecuación (3.1).

Uno de los aspectos más importantes que deben ser tenidos en cuenta durante el proceso de migración a la radiodifusión sonora digital es la posibilidad de reutilizar componentes del sistema de transmisión analógico, lo que conlleva a buscar mecanismos para adecuar la señal  $X(t)$  para este propósito. Uno de estos mecanismos es la obtención de señales individuales denominadas componentes de amplitud y fase a partir de la señal compuesta  $x(t)$ , para aprovechar la etapa de amplificación del sistema de transmisión analógico descrito en la sección 3 del anexo 2. Al aumentar el nivel de la señal a la potencia necesaria para su transmisión, es imprescindible mantener la correcta relación de sus componentes, es decir, la señal DRM no debe sufrir distorsión en el proceso de amplificación de potencia. Si por el contrario se presenta este fenómeno, la señal es



Iván Darío Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez

distorsionada, y los errores introducidos en esta etapa ocasionan que la Tasa de Error de Bit (BER, *Bit Error Rate*) tome niveles inaceptables. Dada la suma importancia esta fase de adaptación, se analizarán a continuación los amplificadores de potencia adecuados para la señal DRM, con el objetivo de evitar los inconvenientes mencionados.

### 3.1.2 Principio de Comportamiento Lineal en Amplificación

Con el propósito de evitar la distorsión, los amplificadores de potencia deben operar en la región lineal, permitiendo el comportamiento presentado en la característica de transferencia que relaciona el voltaje de salida con el de entrada del amplificador, tal como se observa en la figura 3.2.

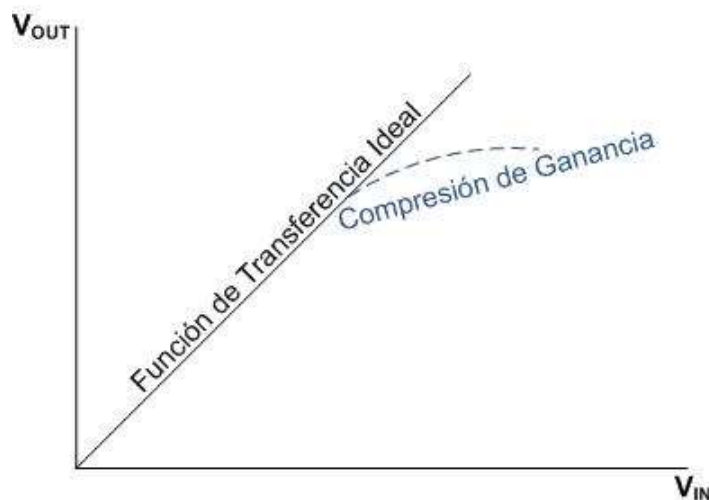


Figura 18 Característica de Transferencia de los Amplificadores Operando en la Zona Lineal

En la figura 3.2 se puede observar que la línea continua es la respuesta de un amplificador de potencia en estado ideal, en donde el voltaje de salida es directamente proporcional al voltaje de entrada, por consiguiente la forma de la onda de salida será justamente similar a la de la entrada. Por el contrario, en un estado no ideal, se alcanza cierto nivel en el cual ocurre la compresión de ganancia, y la característica de transferencia toma la forma mostrada por la línea punteada.

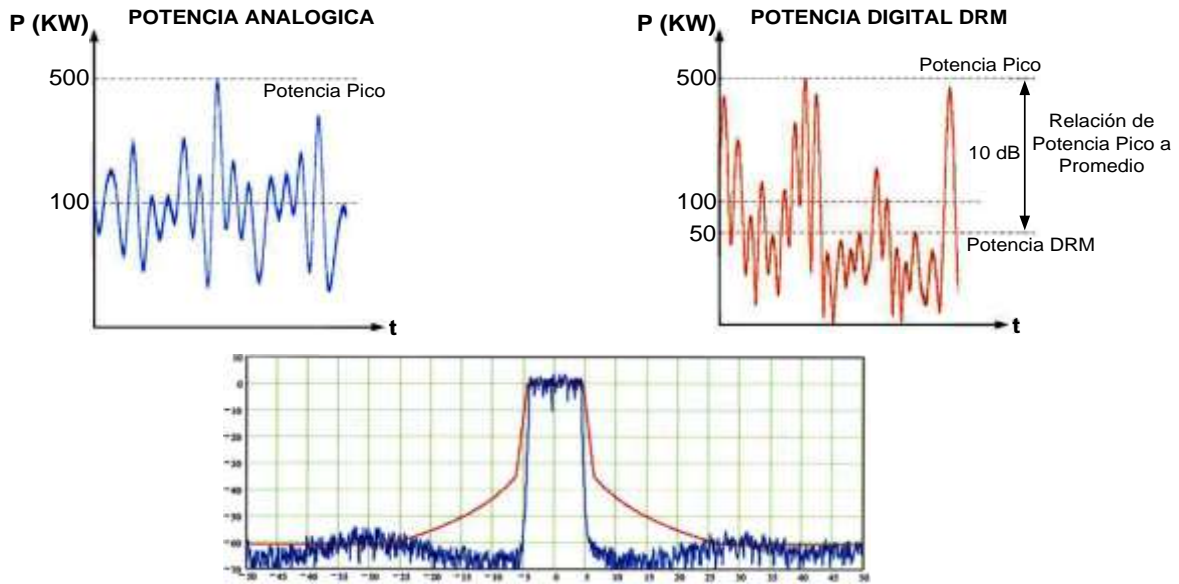
Otro factor importante a tener en cuenta en la selección de un amplificador (de un transmisor analógico) para implementar el sistema DRM, es la Relación de Potencia Pico a Promedio (PAPR, *Peak to Average Power Ratio*) de la señal. Generalmente el nivel de potencia de una señal digital se establece en términos de su valor promedio, es decir, la potencia de la señal DRM se expresa como la potencia promedio de salida de la modulación digital, no obstante la variación en la amplitud pico de las sub-portadoras puede causar que este valor sea superado por una cantidad significativa. En condiciones ideales una señal DRM posee una relación pico a promedio de 10 a 12 dB [14], que significa que un transmisor analógico de AM que soporte una potencia pico de 500 KW, debe operar con una potencia promedio digital de 50 KW o menos para que los picos de las sub-portadoras individuales no sean recortados, tal como se observa en la figura 3.3 (A); dado el caso en que la relación pico a promedio sea menor a 10 dB, es probable que los picos de la señal DRM amplificada causen productos de intermodulación dentro de la



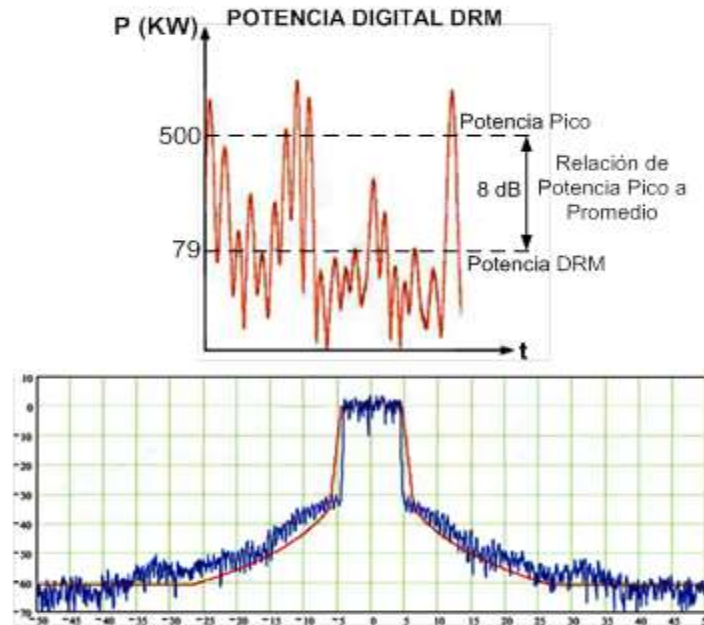


Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez

banda y fuera de ella; es decir, si la relación pico a promedio se disminuye en 2 dB respecto al valor recomendado (10 dB) como muestra en la figura 3.3 (B), algunos picos de la señal DRM son recortados.



(A)



(B)

Figura 19 Espectro de Salida del Transmisor con: A) Relación Pico-Promedio de 10 dB; B) Incremento de 2 dB a la Potencia Promedio [18]



Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez

En la figura 3.3 B) se observa que el incremento de 2 dB a la potencia promedio, causa que los productos de intermodulación se manifiesten a cada lado del espectro, resultando en emisiones fuera de la banda.

### 3.1.2.1 Amplificadores no lineales

Los amplificadores no lineales se caracterizan por su alta eficiencia en el aprovechamiento de la energía suministrada por la fuente, pero presenta la desventaja de la presencia de distorsión en la señal, razones que no permiten su inclusión inmediata en el sistema DRM. Pensando en la necesidad de amplificadores con alta eficiencia que operen en la región lineal, se diseña una técnica denominada Amplitud/Fase de RF (A/RFP, *Amplitude/Phase RF*) encargada de manejar estos componentes de la señal compleja I/Q y las señales de RF, que luego se combinan en el amplificador final, con el objetivo de formar una señal idéntica a la original pero con mayor nivel de potencia. Lo anterior se puede observar en la figura 3.4.

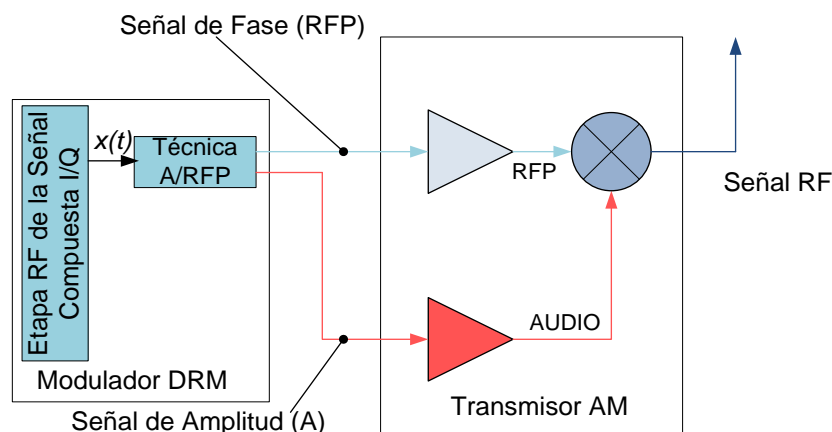


Figura 20 Amplificador no Lineal Operando de Manera Lineal [15]

El objetivo primordial es obtener las componentes de amplitud y de fase, como se puede observar dentro del bloque del modulador DRM de la figura 3.4, donde la señal proveniente de la etapa RF de la señal compuesta I/Q es separada en dos señales, la primera es denominada señal de fase (RFP) y la otra es llamada señal de amplitud (A), que en conjunto se denomina salida A/RFP. Esta técnica es implementada con el objeto de que el amplificador, aunque siga trabajando de manera normal, se comporte de forma lineal. Una manera de visualizar mejor el funcionamiento de esta técnica es mediante la descripción modular, tal como se muestra en la figura 3.5. En ella se presentan los siguientes bloques:

- Detector de envolvente. Su función es conservar la envolvente de la señal de entrada.
- Limitador. Se encarga de preservar la fase con una amplitud constante (señal portadora) de la señal compuesta.

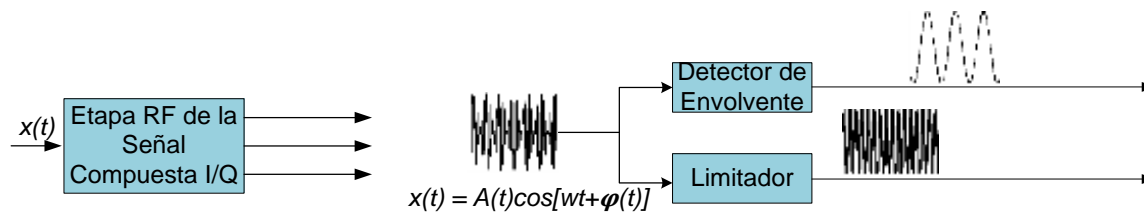


Figura 21 Técnica A/RFP [19]

Como se indica en la figura 3.5, la señal  $x(t)$ , toma dos caminos: el primero hacia el bloque detector de envolvente en donde se obtiene la amplitud de la señal, y el segundo hacia el bloque limitador, obteniéndose una señal de fase con amplitud constante para que al final al igual que la señal de amplitud sean amplificadas por la etapa de amplificación de un transmisor AM. Las dos señales deben llegar al mismo tiempo, por lo cual la fase es retrasada.

Para que el transmisor haga un buen uso de esta técnica, debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Acoplamiento directo entre el modulador y el amplificador. Esto quiere decir que la técnica no es aplicable a los transmisores con amplificadores acoplados por transformador, como los amplificadores clase B.
- El ancho de banda para las componentes individuales de fase y amplitud debe ser mayor que el destinado para la señal compuesta DRM [14].

Teóricamente, cada una de las componentes (de fase y amplitud) necesita un ancho de banda infinito, pero en la práctica basta con que el ancho de banda satisfaga el criterio de Nyquist, que establece que la reconstrucción de una señal periódica continua en banda base a partir de sus muestras, es matemáticamente posible si la señal está limitada en banda, y si la frecuencia de muestreo es superior al doble de su ancho de banda. En la tabla 3.1 se presentan los posibles valores del ancho de banda de las componentes según el ancho de banda nominal.

Tabla 21 Anchos de Banda de las Componentes Según el Ancho de Banda Nominal [14]

Ancho de Banda (KHz)	Ancho de Banda de las Componentes (KHz)	
	RFP	Envolverte
4,5, 5	20	15-20
9, 10	40	30-40
18, 20	80	60-80

Si la señal OFDM es distorsionada, el sistema adquiere valores de BER inaceptables, por lo tanto la técnica A/RFP se establece como una solución de gran importancia, al garantizar los niveles requeridos de potencia y un comportamiento lineal en el proceso de amplificación mediante la conservación de las relaciones de fase y amplitud de las componentes individuales.



Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez

### 3.1.2.2 Amplificadores lineales

Contrario a lo que pasa con los amplificadores no lineales, los lineales utilizan la salida compuesta I/Q del modulador.

Para la utilización de estos amplificadores es necesario operar con el nivel de potencia requerido en las señales de radiodifusión, debido a que en la amplificación lineal se pueden suprimir las componentes de intermodulación de la señal digital, que más adelante ocasionarían una degradación espectral. El alto costo y la baja eficiencia de amplificación que está alrededor de 20 – 30% implican un gasto de funcionamiento elevado, si se requiere de niveles de potencia similares a los suministrados por el amplificador no lineal. Además, el amplificador lineal, debido a su poca eficiencia requiere de una mayor potencia de entrada, generando gastos adicionales de enfriamiento debido a la cantidad de energía no aprovechada que se disipa en forma de calor.

La potencia de salida se reduce por causa de las modificaciones en las condiciones de trabajo para proporcionar su funcionamiento en la zona lineal. A modo de ejemplo, un transmisor PWM de 500 KW maneja una potencia pico de 300 KW para asegurar su funcionamiento en la zona lineal, dando como resultado una potencia promedio de 30 KW, si se opera con una PAPR igual a 10 dB.

Los aspectos analizados anteriormente en los amplificadores lineales tales como alta eficiencia, adaptabilidad al proceso A/RFP y por ser altamente utilizados en sistemas de radiodifusión AM, permiten afirmar que es recomendable utilizar los amplificadores de RF no lineales dentro de los procesos de amplificación del sistema DRM.

### 3.1.3 Transformación de los Diversos Tipos de Transmisores a DRM

En los actuales transmisores AM, el uso de técnicas de amplificación no lineales permite alcanzar altas eficiencias cercanas al 70% y al 80%, y en transmisores AM-PWM la eficiencia alcanza valores cercanos al 95%.

Además de las consideraciones de ancho de banda para DRM mencionadas anteriormente, al convertir los transmisores AM con amplificadores clase C al modo lineal clase A, es importante adaptar las condiciones de trabajo de la cadena de amplificación RF, incluyendo el amplificador final, ya que la potencia necesaria para la señal digital es menor en comparación con la potencia utilizada para radiar la señal AM, tal como se muestra en la tabla 3.2, donde se observa que la relación de potencia entre el sistema analógico y digital es inferior al 10 %; así se aprovecha la eficiencia de los amplificadores clase C y las características de linealidad de los clase A.

Tabla 22 Datos de la Conversión de un Transmisor AM con un amplificador Clase C a DRM [14]

Potencia (KW)	
Analógica RF	DRM
100	< 10
250	< 20
500	< 40



Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez

Los actuales transmisores AM tienen como entrada una señal de audio, encargada de modular la portadora generada por un circuito oscilador interno. Después de verificar que cumple con las consideraciones de ancho de banda y relación de potencia pico a promedio, un transmisor analógico puede ser reutilizado para generar la señal DRM de la siguiente manera:

- La señal  $X(t)$  puede ser separada en sus componentes individuales de amplitud y fase mediante la técnica A/RFP.
- Las componentes anteriores se introducen en la entrada de audio y la señal portadora, respectivamente. Las etapas de amplificación de AM son aprovechadas para darles a las componentes individuales el nivel apropiado, y permitir la excitación del bloque de modulación y amplificación final (Transmisores de estado sólido).
- Por último, el mezclador une las componentes amplificadas obteniéndose de esta manera una señal DRM.

Mediante este proceso se aprovecha la eficiencia de la amplificación no lineal de la etapa final con características de funcionamiento lineal, ya que la señal de salida es una réplica amplificada de la señal de entrada. En la figura 3.6 se muestra una adaptación de la señal  $x(t)$  a un transmisor AM-PWM por medio de la técnica A/RFP.

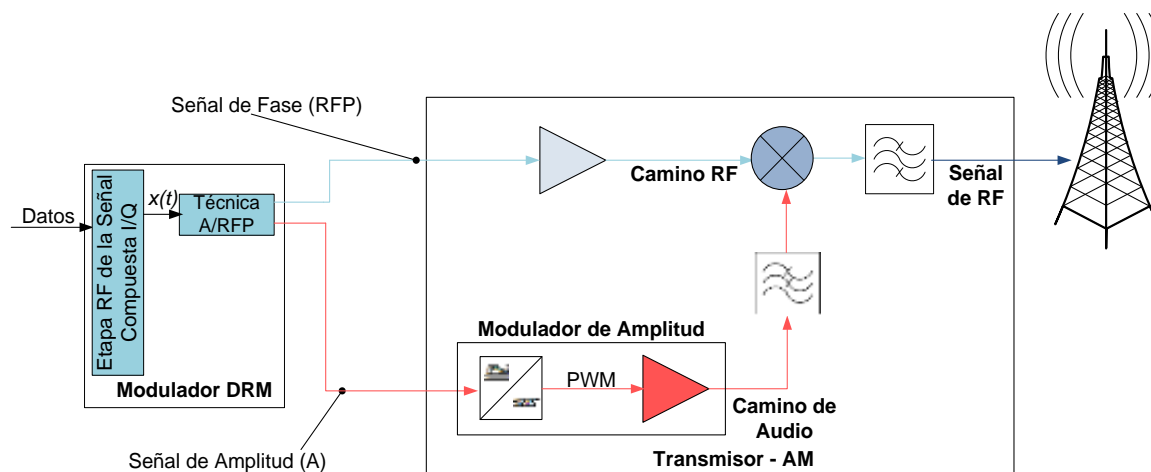


Figura 22 Señal DRM, Generada al Reutilizar un Transmisor AM-PWM [20]

### 3.1.4 Eficiencia en la Cobertura

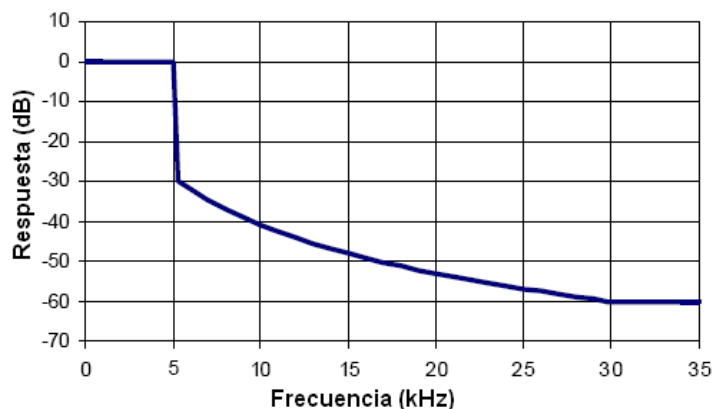
Al comparar la salida entre los transmisores DRM y AM, se encuentra que la cobertura proporcionada por los transmisores DRM trabajando con una menor potencia, puede ser igual a la suministrada por los transmisores AM. De igual forma, como al sistema de transmisión analógico se le ha realizado un proceso en pro de optimizarlo para hacer mejor uso del canal de RF, se obtiene como resultado una mayor cobertura para un mismo nivel de potencia principal.



Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez

### 3.1.5 Mascara Espectral del Transmisor DRM

Generalmente cuando se genera una potencia desde un transmisor AM o DRM, cierta parte de ésta se propaga fuera del ancho de banda requerido, ocasionando que la señal transmitida no esté dentro de los límites especificados por la ITU-R [16]. Con el propósito de evitar interferencias en los canales adyacentes, se ha definido el espectro de salida para un transmisor DRM en función de la máscara, descrita por las siguientes ecuaciones e ilustrada en la figura 3.7 [16].



$$|f| \leq 0,5 * B: \text{-----} P(f) = 0dB$$

$$|f| = 0,5 * B: \text{-----} P(f) = -30dB$$

$$0,53 * B < |f| < 2,98 * B \text{-----} P(f) = -3 - 40 * \log(f / (0,53 * B))$$

$$|f| \geq 2,98 * B: \text{-----} P(f) = -60dB$$

Figura 23 Mascara Espectral del Transmisor DRM [16]

Donde f es la frecuencia y B es el ancho de banda. Además se puede observar en la figura 3.7 que hay una atenuación de 30 dB (para frecuencias igual a  $\pm 0,53 * B$ ), a partir de la cual empieza una pendiente de -12 dB/octava que llega hasta -60 dB [16].

El cálculo de las máscaras espectrales de un transmisor de señales digitales es efectuado conforme a las recomendaciones de la ITU-R [22], bajo las cuales el ancho de banda del espectro de los transmisores AM debe limitarse cumpliendo con la recomendaciones [16], tal como se muestra en la figura 3.8 para el caso particular de un ancho de banda de 10 KHz y un modo de robustez B.

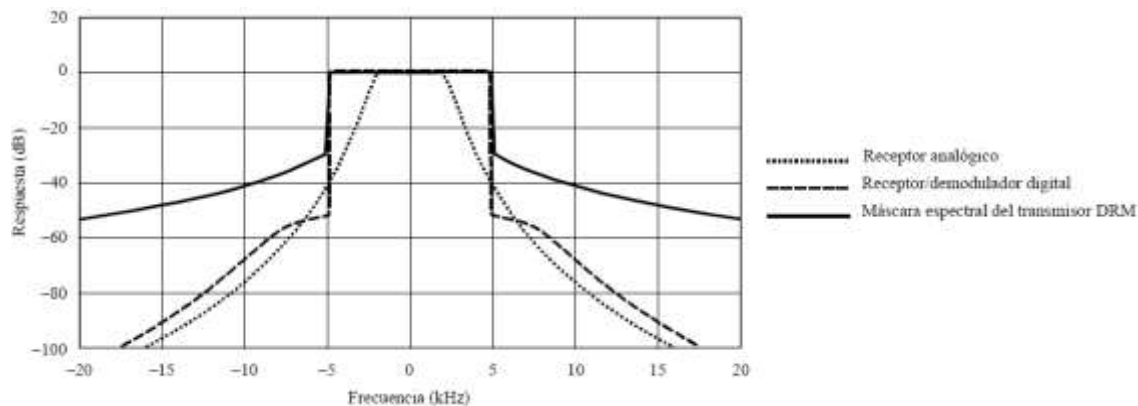


Figura 24 Máscara Espectral del Transmisor DRM con Curvas de Selectividad del Receptor [16]

Las recomendaciones para la máscara espectral, están estrechamente relacionadas con la operación lineal del transmisor y con la relación pico a promedio explicada anteriormente.

### 3.1.6 Prácticas al Modificar un Transmisor AM en DRM

Las experiencias que a continuación se van a describir, fueron realizadas en la emisora Vaticano al modificar un transmisor AM, con el fin de adaptarlo al sistema de transmisión DRM para los casos de operación en las bandas SW y MW.

La banda SW.

- Transmisor AM-PWM. A fin de que funcione en modo DRM, el transmisor AM-PWM de 500 KW que data de 1985 fue modificado, arrojando como resultado una insuficiencia al procesar la señal envolvente cuando se utilizó una frecuencia de la señal de conmutación PWM del doble del ancho de banda de transmisión debido a que no se cumplía con los requerimientos de ancho de banda para las componentes individuales como fue descrito en la tabla 3.1 de la sección 3.1.2.1.

Afortunadamente el transmisor podía operar con modulación en banda lateral única SSB por lo que la frecuencia de conmutación PWM era cuatro veces el ancho de banda de la señal envolvente. Además el transmisor estaba equipado con un modulador-excitador externo DRM que insertó una señal OFDM en la cadena de procesamiento de SSB.

La eficiencia que se esperaba fue menor a la alcanzada cuando operaba en el modo AM. Esta eficiencia estuvo alrededor del 40%.

La banda MW.

- Transmisor moderno de estado sólido. En el primer semestre del 2004, la Radio Vaticano con la supervisión del fabricante, modificó un transmisor de estado sólido de 50 KW equipándolo con un sintetizador interno capaz de aceptar la representación I/Q de la señal de modulación. Seguidamente no realizaron



ninguna modificación en la cadena de RF, debido a la estructura de las etapas de potencia de RF, conservándose así la eficiencia original del transmisor.

### **3.2 ESTUDIO DE LA COBERTURA**

A continuación se presentan dos conceptos fundamentales que son tenidos en cuenta en la planificación de servicios de radiodifusión sonora, que utilizan técnicas digitales y analógicas en los sistemas de transmisión y recepción.

- Mínima intensidad de campo utilizable. Se emplea con el propósito de definir el área de cobertura del transmisor, en donde para alcanzar una adecuada recepción de cualquier servicio de radio, la intensidad de campo debe superar los valores mínimos recomendados por la ITU-R [16] para una BER de  $10^{-4}$ , permitiendo que el demodulador opere normalmente. Se tiene en cuenta el efecto de la distancia entre el transmisor y el receptor: por ejemplo, si el receptor se aleja cada vez más del transmisor, la intensidad del campo disminuye, lo que no sucede con el ruido ya que éste sigue siendo el mismo.
- Criterios de protección. Notoriamente no sólo están presentes las fuentes de ruido, sino también las provenientes de las interferencias de los servicios de radio que operan cerca de la frecuencia de transmisión deseada. Estas interferencias deben ser controladas en el proceso de planificación. En cualquier estación se establecen condiciones en aspectos como la potencia, la ganancia de la antena, al igual que su directividad, de forma tal que la señal demodulada en el receptor de referencia consiga un nivel de calidad definido por:
  - El área de servicio requerida.
  - Las interferencias que experimenta

En el caso particular de estudio (DRM), el estándar de calidad es determinado para una BER de  $10^{-4}$ . Como se mencionó anteriormente se establecen parámetros como la potencia y las características de la antena, entre otros, con el fin de evitar que el efecto acumulativo de las interferencias no sobrepase los límites fijados en otros sistemas para su propia área de servicio. Se considera que al introducir un sistema DRM, este no interfiere más que los sistemas analógicos ya que el nivel de potencia del sistema digital es menor al nivel de potencia utilizado por los sistemas analógicos para lograr la misma área de cobertura, y a su vez cumplir con las relaciones de protección entre servicios de radiodifusión sonora analógico-digital y digital-analógico [3].

#### **3.2.1 Cobertura Según la Banda**

##### **3.2.1.1 Banda SW**

Este tipo de banda es muy utilizada por los radiodifusores en especial sus frecuencias más bajas, ya que consiguen abarcar grandes distancias haciendo uso de la propagación ionosférica. No obstante la banda, también emplea la propagación de onda terrestre, con la salvedad de que las distancias alcanzadas son inferiores a las proporcionadas por la onda anteriormente mencionada, es decir, este tipo de onda es utilizada para garantizar la cobertura de un área específica cerca del sitio en donde se transmite.





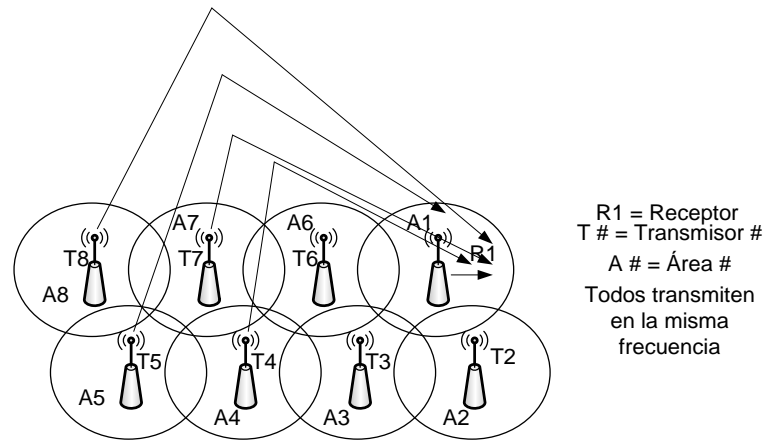
La cobertura del área depende en gran medida de las siguientes características de la antena de transmisión como:

- El ancho del haz horizontal. El cual determina el ancho del área de cobertura desde el transmisor.
- El ancho del haz vertical. Está relacionado con la profundidad del área de cobertura.
- Angulo de elevación de la radiación máxima. En este se tiene en cuenta la ionización de las capas de la ionosfera, para proporcionarla distancia de cobertura desde el centro de radiación.
- Ángulos altos y bajos. Los ángulos bajos proveen coberturas a largas distancias, mientras que los altos solo cerca del transmisor.

Según los requerimientos de cobertura, una vez elegida la antena que más se ajuste a los requerimientos, se prosigue a calcular la potencia de transmisión para lograr la calidad de servicio requerida, sin olvidar los fenómenos del canal como ruido e interferencias de otras transmisiones dentro del área deseada.

Es importante considerar que en ciertas ocasiones es necesario contar con más de un transmisor, con el fin de prestar el servicio de radiodifusión en el área deseada. Por tal motivo el sistema DRM contempla los siguientes tipos de redes:

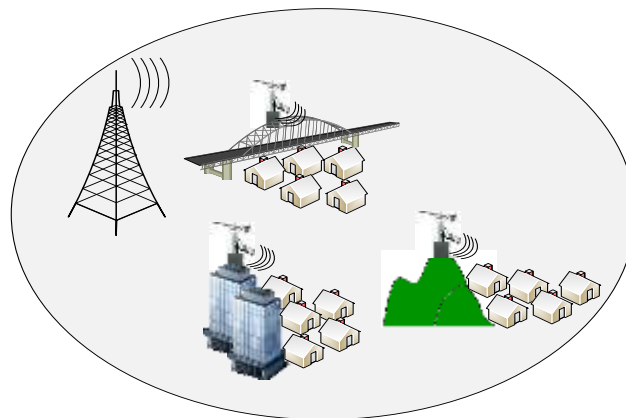
- Red de Frecuencia Única o Isofrecuencial (SFN, *Single Frequency Networks*). Normalmente las emisiones entre el transmisor y el receptor se ven afectadas por la propagación multitrayecto. Con el propósito de prevenir este fenómeno y de abarcar extensas áreas, la radiodifusión analógica utiliza una frecuencia de transmisión diferente para cada zona de servicio ocasionando el desaprovechamiento del espectro; la introducción de SFN es de vital importancia, para dar solución a este problema. La SFN es el tipo de red que se emplea para evitar la interferencia y cubrir una mayor área, haciendo uso de varios transmisores que se encargan de transportar la misma señal en igual frecuencia, tomando en consideración que la diferencia de tiempo con que estas señales alcancen al receptor, sea menor que el intervalo de guarda, fortaleciendo las señales y permitiendo mejorar sustancialmente la cobertura del servicio en una área específica. Con lo anterior se puede establecer que la SFN es eficaz no solo al permitir realizar un mejor uso del espectro radioeléctrico, sino también al utilizar una menor potencia de transmisión, debido a que es posible recibir la misma señal de diferentes transmisores, produciéndose una suma de todas las señales, como se puede observar en la figura 3.9.



**Figura 25 Ejemplo de una Red Isofrecuencial para Onda de Cielo**

Dentro de las SFN, se encuentran diferentes tipos de transmisores que de acuerdo a sus características se encargan de cubrir ciertas zonas, tal como se especifica a continuación:

- a. Gap-fillers. También conocidos como repetidores isofrecuenciales, son utilizados comúnmente en zonas ubicadas dentro del área de cobertura del transmisor principal, denominadas zonas de sombra, a las cuales se dificulta entregar la señal con niveles apropiados, por ejemplo túneles, puentes, colinas o edificios altos, e incluso en el interior de los mismos, como se muestra en la figura 3.10. Los gap-fillers se caracterizan por su fácil instalación, bajo costo, por transmitir la señal a igual frecuencia que el transmisor principal con menor potencia de transmisión.



**Figura 26 Transmisores Gap-Fillers en Redes SFN**

- b. Repetidores co-canal. Son repetidores de mediana potencia, cuya función radica en capturar, filtrar, amplificar y retransmitir la señal proveniente del transmisor principal. Se encuentran localizados en los límites del área de cobertura suministrada por el transmisor anteriormente mencionado, por lo cual, sin necesidad de incrementar la potencia del transmisor estos



Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez

permiten ampliar la zona de cobertura, tal como se observa en la figura 3.11.

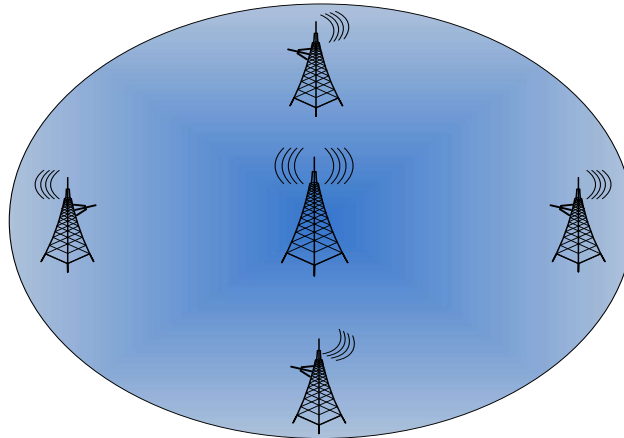


Figura 27 Repetidores Co-Canal en SFN

- Redes de Frecuencias Múltiple (MSN, *Multi Frequency Network*). Utilizadas principalmente cuando se desean cubrir áreas extensas con una mayor confiabilidad del servicio proporcionado; las redes están compuestas por varios transmisores, en donde cada uno opera con diferente frecuencia para difundir la misma señal, tal como se observa en la figura 3.12. Las condiciones de propagación de la señal pueden variar dependiendo de los fenómenos que se presenten en el medio de transmisión, por lo cual la recepción de una sola frecuencia puede cambiar de manera significativa; por tal razón, el disponer de otra frecuencia que suministre el mismo servicio, le permite al receptor elegir cuál de las frecuencias captadas contiene mejor nivel para proporcionar una recepción adecuada, ante la variación de las condiciones de propagación.

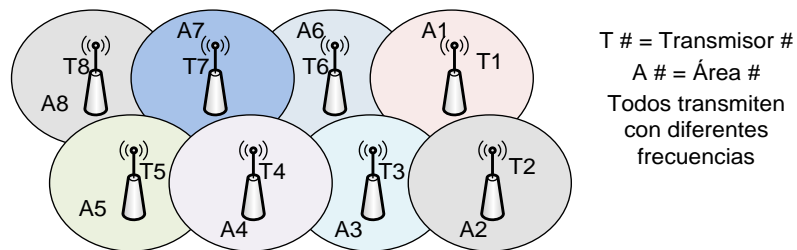


Figura 28 Red de Frecuencias Múltiple

- Único Transmisor. Al utilizar un solo transmisor para prestar un servicio de radiodifusión en una ciudad o área, se pueden presentar varios problemas críticos por su posible ubicación y por los efectos de propagación que experimenta debido a las condiciones del medio de transmisión.

### 3.2.1.2 Banda MW

Conocida comúnmente como banda comercial, la propagación se realiza mediante la onda terrestre, alcanzando mayor cobertura durante el día ya que en la noche se reduce



debido a las interferencias causadas por las multiplex reflexiones de la señal en la ionosfera.

Se considera que la cobertura lograda por un sistema DRM será tan buena o mejor que la proporcionada por un servicio AM, a pesar de que los niveles de potencia de una señal DRM están 7 dB por debajo del nivel de potencia de la señal AM que sustituye. Esto conlleva a que la señal DRM no causa mayor interferencia que la proporcionada por AM. Al igual que en la banda de SW, la MW presenta los mismos tipos de redes.

### **3.2.2 Relaciones de Protección**

Con el objetivo de continuar con los parámetros de planificación, y asegurar que la señal requerida no sea interferida por una señal no deseada, la ITU ha realizado recomendaciones [16] que permiten relaciones de protección entre estas dos señales. Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación se establecen las siguientes características que dependen del tipo de señal.

- Para las señales AM en la banda SW, la Relación de Protección de Audio Frecuencia ( $A_{AF}$ , *Audio Frequency Protection Ratio*) es de 17 dB, para el caso de AM interferida por AM [16].
- Para las señales AM en la banda MW, la  $A_{AF}$  es de 30 dB, también para el caso de AM interferida por AM, para las regiones 1 y 3 [16].
- Para señales DRM en donde es necesario alcanzar una determinada BER, la relación de protección AF es sustituida como parámetro de calidad de servicio por la relación Señal/Interferencia ( $S/I$ , *Signal/Interference*) [16].

Con el objetivo de calcular la relación de protección de RF absoluta para proteger el servicio tanto de AM existente como de DRM, es necesario utilizar las ecuaciones (3.6) y (3.7) [16]:

- Para proteger el servicio AM:

$$A_{RF} = A_{RF_{relativa}} + A_{AF} \quad (3.6)$$

en donde  $A_{RF}$  = Relación de protección de RF absoluta.

$A_{RF_{relativa}}$  = Relación de protección de RF relativa, sus valores se encuentran listados en la tabla 3.3.

- Para proteger el servicio DRM:

$$A_{RF} = A_{RF_{relativa}} + \frac{S}{I} \quad (3.7)$$

en donde  $A_{RF}$  = Relación de protección de RF absoluta.

$A_{RF_{relativa}}$  = Relación de protección de RF relativa. Los valores correspondientes a este parámetro se encuentran relacionados en las tablas 3.4 y 3.5 [16].



Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez

Es importante aclarar que la introducción de la señal DRM en un ambiente donde existen señales AM, no ocasionará a las estaciones actuales una interferencia mayor que la proporcionada por la señal AM que se va a sustituir. Por tal motivo se definieron valores correspondientes a la relación de protección de RF, con el fin de no afectar los servicios ofrecidos por los sistemas con AM existentes.

**Tabla 23 Relaciones de Protección de RF Relativas para una Señal AM Interferida por una Señal DRM [16]**

Señal deseada	Señal no deseada	Separación de frecuencia $f_{no\ deseada} - f_{deseada}$ (KHz)													Parámetros	
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20	B <sub>DRM</sub> (KHz)	A <sub>AF</sub> (dB)
AM	DRM_A2	-48,9	-47	-43,6	-34,5	-29,8	3,4	6,6	3,4	29,8	34,5	43,6	-47	48,9	9	-
AM	DRM_A3	47,4	45,5	42,1	32,4	26,5	3,1	6,1	3,1	26,5	32,4	42,1	45,5	47,4	10	-
AM	DRM_B0	50,4	50,4	-49	35,5	28,4	6,4	6,6	30,9	46,7	48,2	50,4	50,4	50,4	4,5	-
AM	DRM_B2	48,8	46,9	43,5	34,4	29,7	3,4	6,5	3,4	29,7	34,4	43,5	46,9	48,8	9	-
AM	DRM_B3	47,2	45,3	41,9	-32	25,9	3	6	3	25,9	-32	41,9	45,3	47,2	10	-
AM	DRM_C3	47,5	45,6	42,2	32,6	26,7	3,1	6,1	3,1	26,7	32,6	42,2	45,6	47,5	10	-
AM	DRM_D3	47,4	45,5	42,2	32,4	26,5	3,1	6,1	3,1	26,5	32,4	42,2	45,5	47,4	10	-

**Tabla 24 Relaciones de Protección de RF Relativas para una Señal DRM Interferida por una Señal AM [16]**

Señal deseada	Señal no deseada	Separación de frecuencia $f_{no\ deseada} - f_{deseada}$ (KHz)													Parámetros	
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20	B <sub>DRM</sub> (KHz)	S/I(dB)
DRM_A2	AM	54,7	52,4	48,8	42,9	-34	-6,5	0	6,5	-34	42,9	48,8	52,4	54,7	9	6,7
DRM_A3	AM	-54	51,7	48,1	40,6	25,8	-3,6	0	3,6	25,8	40,6	48,1	51,7	-54	10	6,7
DRM_B0	AM	57,7	55,5	52,2	46,1	-45	36,2	0	3,5	30,9	41,1	46,9	50,6	-53	4,5	4,6
DRM_B2	AM	54,6	52,4	48,8	42,8	33,7	-6,4	0	6,4	33,7	42,8	48,8	52,4	54,6	9	7,3
DRM_B3	AM	53,9	51,5	-48	39,9	-25	-3,1	0	3,1	-25	39,9	-48	51,5	53,9	10	7,3
DRM_C3	AM	-54	51,7	48,1	40,9	26,1	-3,8	0	3,8	26,1	40,9	48,1	51,7	-54	10	7,7
DRM_D3	AM	-54	51,7	48,1	40,7	25,8	-3,6	0	3,6	25,8	40,7	48,1	51,7	-54	10	8,6



Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez

Para evitar la interferencia entre señales de radiodifusión sonora digital se establecen los siguientes valores de relación de protección, teniendo en cuenta el esquema de modulación de 64-QAM, una BER de  $10^{-4}$  y nivel de protección 1. En el caso de utilizar otro esquema de modulación con diferente nivel de protección, se consideran los valores de corrección S/I descritos en la tabla 3.6, que deben ser añadidos a los valores de las tablas 3.4 y 3.5.

**Tabla 25 Relaciones de Protección de RF Relativas para una Señal DRM Interferida por otra Señal DRM [16]**

Señal deseada	Señal no deseada	Separación de frecuencia $f_{no\ deseada} - f_{deseada}$ (KHz)												Parámetros		
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20	B <sub>DRM</sub> (KHz)	S/I (dB)
DRM_B0	DRM_B0	-60	59,9	-60	55,2	53,2	40,8	0	40,8	53,2	55,2	-60	59,9	-60	4,5	16,2
DRM_B0	DRM_B2	57,4	55,7	52,9	46,7	45,1	36,6	0	-0,8	35,6	38,4	47,7	51,5	53,6	9	13,2
DRM_B0	DRM_B3	55,2	53,6	50,7	44,5	42,9	33,1	0	-0,1	13,6	36,2	45,5	49,3	51,4	10	12,6
DRM_B1	DRM_B0	59,4	59,5	59,5	-55	-53	40,8	0	37,9	51,7	53,9	59,4	59,5	59,4	4,5	16,2
DRM_B1	DRM_B2	57,1	55,4	52,6	46,4	44,9	36,4	0	-0,1	13,7	36,8	46,6	50,5	52,7	9	13,2
DRM_B1	DRM_B3	55,5	53,8	-51	44,8	43,3	33,5	0	0,1	-8,1	35,2	-45	48,9	51,1	10	13,2
DRM_B2	DRM_B0	-57	56,8	54,8	43,4	39,1	-0,7	0	40,6	52,2	53,9	-57	-57	-57	4,5	15,9
DRM_B2	DRM_B2	55,1	53,1	49,5	40,7	38,1	-3,7	0	-3,7	38,1	40,7	49,5	53,1	55,1	9	15,9
DRM_B2	DRM_B3	52,9	-51	47,4	38,6	16,6	-3,2	0	-3,2	16,6	38,6	47,4	-51	52,9	10	15,4
DRM_B3	DRM_B0	56,4	56,2	53,8	41,1	14,1	-0,1	0	37,7	50,9	52,8	56,4	56,4	56,4	4,5	15,9
DRM_B3	DRM_B2	54,3	52,3	48,6	39,3	16,7	-3,1	0	-3,1	16,7	39,3	48,6	52,3	54,3	9	15,9
DRM_B3	DRM_B3	52,7	50,7	-47	37,7	11,1	-3,1	0	-3,1	11,1	37,7	-47	50,7	52,7	10	15,9

**Tabla 26 Valores de Corrección S/I para otro tipo de Esquema de Modulación DRM con Diferente Nivel de Protección [16]**

Esquema de Modulación (QAM)	Nivel de Protección N <sub>0</sub>	Tasa de Codificación Promedio	Valores de Corrección (dB) para DRM		
			A/2, A/3*	B/0, B/1	B/2, B/3
16	0	0,5	-6,7	-6,7	-6,6
	1	0,62	-4,6	-4,7	-4,6
64	0	0,5	-1,2	-1,3	-1,2
	1	0,6	0,0	0	0
	2	0,71	1,8	1,7	1,8
	3	0,78	3,4	3,3	3,4

\* Modo de robustez/Tipo de ocupación del Espectro



### **3.2.3 Propagación**

#### **3.2.3.1 Propagación en la banda SW**

Algunas de las principales características de la propagación de las ondas electromagnéticas en la banda SW son la propagación de señales entre dos puntos sin necesidad de línea de vista, utilizando el mecanismo de la reflexión de las ondas electromagnéticas en las diferentes capas de la ionosfera (D, E, F1 y F2), las cuales se comportan como espejos permitiendo el retorno de la señal a la tierra, alcanzando distancias de hasta 2000 Km (capa E) y 4000 Km (capa F2).

Es importante resaltar que las variaciones de las propiedades de la ionosfera durante el día inciden en las comunicaciones en esta banda; por esta razón se han definido algunos límites de frecuencia, que tienen en cuenta estas variaciones. Para establecer una comunicación vía ionosfera, se debe considerar la Máxima Frecuencia Utilizable (MUF, *Maximum Useable Frequency*) que está dada en función de las distintas horas del día. Esta frecuencia se encuentra por debajo de la frecuencia crítica, conocida como la máxima que puede reflejar la capa ionosférica cuando el rayo incide perpendicularmente a ella, por lo cual las ondas de radio de frecuencia mayor a la MUF no serán reflejadas hacia la tierra, sino disparadas al espacio. Además de la MUF se identifican las siguientes frecuencias:

- Frecuencia Óptima de Trabajo (OWF, *Optimal Working Frequency*). Equivalente al 85% de la MUF, la cual se define para alcanzar una mayor estabilidad y confiabilidad durante transmisiones prolongadas, con la salvedad de que presenta una intensidad de recepción levemente inferior a la proporcionada por la máxima frecuencia utilizable.
- Mínima Frecuencia Utilizable (LOF, *Lower Usable Frequency*). Es la mínima frecuencia que permite operar sin los inconvenientes causados por el ruido atmosférico y la elevada absorción.

En la actualidad la recomendación “*Método de Predicción de la Calidad de Funcionamiento de Circuitos que Funcionan en Ondas Decamétricas*” [23], está siendo estudiada con el fin de ampliarse, debido a que para escoger una frecuencia óptima en la prestación de un servicio ya sea analógico o digital, es necesario tener información acerca de la dispersión Doppler y retardos de propagación, entre otros, que permitan escoger el mejor modo de transmisión para una transmisión digital.

#### **3.2.3.2 Propagación en la banda MW**

Contrario a la propagación que experimentan las señales que utilizan la banda SW, la propagación en la banda MW se realiza a través de la onda terrestre cuyo alcance se determina por aspectos como la frecuencia, la potencia de transmisión y las características de conductividad del terreno (mar, suelo seco o suelo húmedo). Se debe considerar dentro del proceso de planificación, el cumplimiento de los requisitos de protección co-canal y canal adyacentes de la radiodifusión ITU, propuestos en la recomendación “*Relaciones de protección en radiofrecuencia para la radiodifusión en ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas*” [24].



### **3.3 ANTENAS**

En un sistema de transmisión, el elemento que realiza la adaptación de la señal proveniente del transmisor para que sea propagada en el espacio libre es la antena, convirtiendo la señal RF en una onda electromagnética; por consiguiente, en esta sección se tendrán en cuenta las características más sobresalientes que permitan su utilización en el entorno DRM, particularmente en la banda MW y SW.

El comportamiento de la antena depende de sus dimensiones, de la longitud de onda de la señal RF transmitida y de la adaptación de la impedancia en el punto de alimentación, entre otros aspectos. Las antenas que operan en la banda SW en el sistema de radiodifusión analógico pueden manejar el ancho de banda de las señales DRM. En las bandas MW/LW se deben considerar las especificaciones de ancho de banda y la Relación de Voltajes de Onda Estacionaria (VSWR, *Voltage Standing Wave Ratio*) propuestas por el estándar DRM, para asegurar que no se presenten degradaciones en la señal.

#### **3.3.1 Antenas en la Banda MW**

Con el fin de satisfacer los requerimientos del sistema DRM, las antenas deben cumplir con los requisitos de diseño que garanticen una buena transmisión en la frecuencia de operación de la estación de radiodifusión, teniendo en cuenta que en ciertas instalaciones a través de una misma antena se pueden radiar dos o más servicios. Por otra parte, su elección depende en gran medida de la orientación de la propagación en las distintas direcciones del espacio a las que se le quiere dar cobertura.

Otro factor relevante en la selección de las antenas es el ancho de banda, considerado como el intervalo de frecuencias en que opera la antena, donde la señal mantiene el nivel de potencia no menor a 3dB de la potencia máxima. En este intervalo de frecuencias, la impedancia de la antena debe mantener valores apropiados de operación para aprovechar aspectos de la antena como la ganancia y la directividad, entre otros, para una banda de operación determinada.

Las antenas que operan en la banda MW presentan variaciones en la impedancia en función de la frecuencia, lo que no ocurre con los parámetros como la ganancia y el patrón de radiación de la antena. Cuando no existe estabilidad en el comportamiento de la impedancia dentro del ancho de banda requerido para su operación, surgen los problemas de acoplamiento de impedancia entre las líneas de transmisión y las antenas.

A fin de comprender el comportamiento que experimentan las antenas entre un voltaje máximo y uno mínimo, se utiliza el concepto de Relación de Onda Estacionaria (SWR, *Standing Wave Ratio*), definido por la ecuación 3.8, conocido también como VSWR.

$$VSWR = V_{max}/V_{min} \quad (3.8)$$

La evaluación de la VSWR permite conocer el comportamiento de la antena al ser conectada a la línea de transmisión, debido a que su valor ofrece información de acoplamiento entre la impedancia característica de la línea de transmisión y la impedancia de la antena.





Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez

Hay que resaltar también que una buena transmisión requiere de un óptimo acoplamiento entre las impedancias de la línea de transmisión y de la antena para máxima transferencia de potencia, obligando a conseguir un valor VSWR menor igual a 1, de forma ideal.

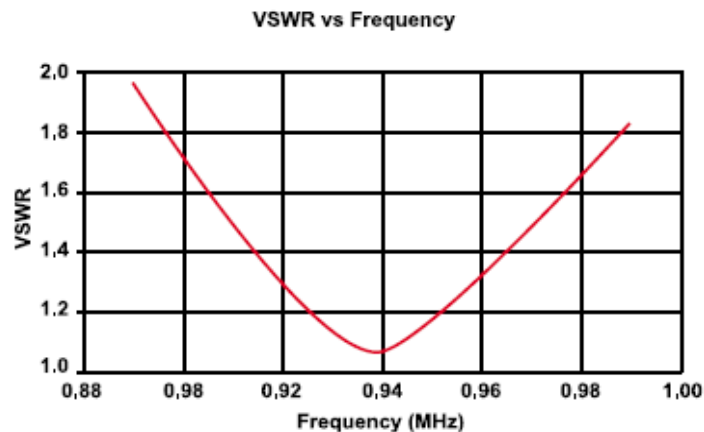
Varias compañías han realizado investigaciones sobre qué valores de VSWR son idóneos para el sistema DRM, concluyendo que el ancho de banda puede ser expresado en términos de la característica VSWR; los resultados se observan en la tabla 3.7 [14].

**Tabla 27 Valores Obtenidos de VSWR al Utilizar Antenas MW, Dependiendo del Ancho de Banda [14].**

Ancho de Banda (KHZ)	Rango de Frecuencias (KHz)	VSWR
10	$\pm 5$	$\leq 1,035$
20	$\pm 10$	$\leq 1,2$
30	$\pm 15$	$\leq 1,4$

En la anterior tabla se observa que, en la práctica, es necesario contar dentro de las especificaciones de la antena con el diagrama de la variación, debido a que la impedancia de la antena varía en función de la frecuencia.

En la figura 3.13 se muestran las variaciones que experimenta el VSWR para el caso particular de un típico radiador de mástil resonante  $\lambda/4$ , con una base de alimentación del mástil de 75 metros y un diámetro de 0,5 m. Su frecuencia resonante es aproximadamente 939 KHz [2].



**Figura 29 Comportamiento VSWR de una Antena con Relación a las Frecuencias que se Encuentran Cerca de la Frecuencia Resonante [2]**

Una recomendación importante para el sistema DRM es que la variación de VSWR debe ser simétrica, respecto a la frecuencia de operación como se observa tanto en la tabla 3.7 como en la figura 3.13.

### 3.3.2 Antenas en la Banda SW

Pruebas realizadas en laboratorio por la ETSI, con antenas que operan en la banda SW para los sistemas de radiodifusión sonora analógica, indican que es posible reutilizarlas en los sistemas de radiodifusión digital con el estándar DRM sin efectuar ninguna modificación, debido a que el requerimiento de ancho de banda de los sistemas



analógicos es mayor al estimado para el sistema DRM, por tal motivo el uso de estos dispositivos no produce ningún tipo de degradación en el proceso de transmisión de la señal.

### **3.4 RECEPTOR**

En cualquier mercado, el éxito de un nuevo dispositivo radica tanto en lo innovador de sus prestaciones como en el costo de adquisición para los usuarios: si el precio del dispositivo es elevado, van a ser mínimo el número de compradores del nuevo producto. Por lo anterior, es importante que el público tenga acceso a receptores digitales con precios módicos en un futuro cercano. Los receptores que actualmente se utilizan, basan su funcionamiento en el software denominado DREAMS, desarrollado por el consorcio DRM, con el propósito de facilitar la recepción de la señal hasta que se facilite a los usuarios la adquisición de los nuevos receptores digitales.

### **3.5 ELEMENTOS PARA LA TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN DE UNA SEÑAL DRM**

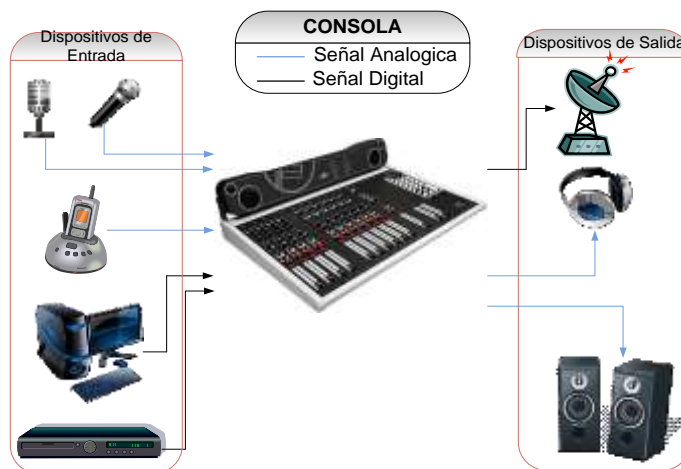
Considerando la descripción realizada en los capítulos anteriores y en los anexos, sobre la arquitectura del sistema DRM y sobre los elementos que componen una estación de radiodifusión sonora con AM, se procede a analizar las modificaciones/adaptaciones a la infraestructura existente con el fin de transmitir la señal DRM. Se comienza con la descripción de los módulos estudio, enlace estudio – transmisor, transmisor y receptor, finalizando con la descripción de los requerimientos técnicos que permitan una adecuada recepción de la señal.

#### **3.5.1 Estudio**

El estudio es un módulo de gran importancia dentro de los sistemas que facilitan el servicio de radiodifusión sonora, porque en él se dan las condiciones apropiadas para la adecuación de la información a un formato digital y para su transmisión. A continuación se describen los componentes principales del estudio.

##### **3.5.1.1 Consola**

Las consolas empleadas en las emisoras de radiodifusión deben utilizar la interfaz AES3 (AES/EBU) para operar con diferentes dispositivos como las fuentes de información digital, control y sincronización, entre otros; además, de contar con interfaces para conexiones analógicas que permitan la conexión de dispositivos que manejan información en formato analógico, como se presenta en la figura 3.14.



**Figura 30 Consola Utilizada para Radiodifusión Sonora Analógica y/o Digital**

Para reutilizar aquellas consolas que no dispongan de interfaz AES3 durante el proceso de migración, es necesario introducir un convertor D/A para conectarlas con dispositivos cuyas interfaces son digitales. El audio analógico generado por la consola, se transmite a la planta de transmisión por medio del sistema de enlace estudio-transmisor analógico, con el fin de realizar posteriormente el proceso de digitalización que se efectúa en la planta transmisora.

Hasta que el sistema de radiodifusión analógica migre totalmente a la radiodifusión digital, es importante que la consola realice el proceso de conversión de señales analógicas a señales AES/EBU; además, es primordial que presente diferentes frecuencias de muestreo (8, 12, 16 y 24 KHz), para los diferentes técnicas de codificación de audio [3].

### 3.5.1.2 Cableado

El sistema de cableado es el encargado de transportar las señales entre los equipos del sistema de radiodifusión, teniendo en cuenta que para conseguir un óptimo nivel de calidad de la señal, no solo es necesario tener en cuenta aspectos como la respuesta en frecuencia del cable utilizado, sino también las condiciones de protección de equipos, entre ellos la instalación del sistema de tierras, con el objeto de garantizar un mejor desempeño con niveles de seguridad. La escogencia del tipo de cable depende tanto de las características de los equipos a utilizar, como de la señal que se va a transmitir. Un sistema de cableado básico en DRM, debe contar con los siguientes elementos para interconectar los diferentes equipos:

- Cable de Par Trenzado Apantallado (STP, *Shielded Twisted Pair*)

Es uno de los cables más utilizados en todo el mundo, constituido por hilos de cobre aislados y entrelazados entre sí, que a su vez están rodeados por un blindaje trenzado de lámina y recubiertos por un material plástico denominado envoltura, como se aprecia en la figura 3.15. Este sistema de cableado es usado en conexiones digitales generalmente con una impedancia de 110  $\Omega$ , empleando conectores XLR.

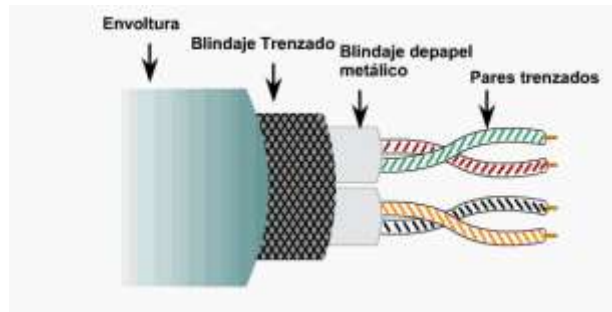


Figura 31 Composición del Cable STP

➤ Cable coaxial

Este tipo de cable está conformado por un núcleo de hilo de cobre cubierto por un material dieléctrico, blindado con un metal trenzado, y revestido por un plástico protector, como se observa en la figura 3.16.

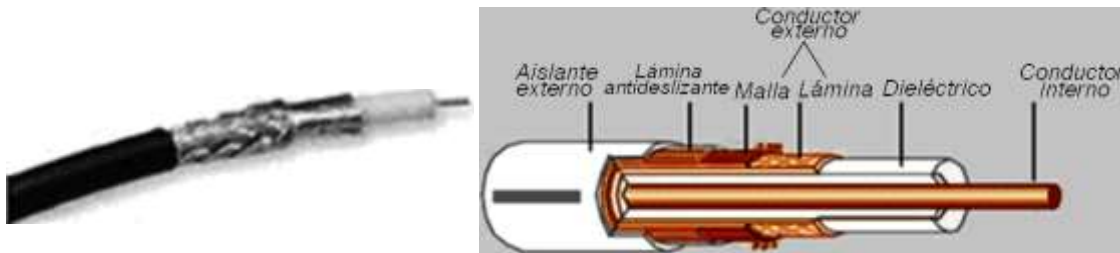


Figura 32 Composición del Cable Coaxial

Es empleado para transmitir señales como voz, video y datos, protegiendo las señales contra interferencias eléctricas; son usados habitualmente para conexiones analógicas, cuyos conectores pertenecen a la familia BNC.

➤ Cable Telefónico

Es conocido normalmente como 22 Calibre de Alambre Estadounidense (AWG, *American Wire Gauge*), por el tipo de grosor; generalmente se suele utilizar para establecer conexiones lógicas. Dependiendo de las características del equipo y de la aplicación, se conforma el número de conductores. Los conectores utilizados para este tipo de cable son los RJ11 y RJ12.

### 3.5.2 Enlace Estudio Transmisor (STL)

Los STL analógicos generalmente pueden transportar programación de audio, sin capacidad para el envío de grandes cantidades de datos en el mismo canal, aspecto que debe ser tenido en cuenta para brindar los nuevos servicios de radiodifusión sonora digital. Es necesario entonces, buscar algún mecanismo que permita la reutilización de los STL existentes con la posibilidad de enviar información de audio y datos al transmisor, por consiguiente a continuación se presenta algunas alternativas:

- El audio puede ser enviado directamente por medio del STL analógico a la planta transmisora, y los datos son llevados por medio de una red Ethernet; por



Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez

consiguiente se debe contar con un computador en el STL y otro en la planta transmisora, encargados de transmitir y recibir respectivamente los datos para entregarlos al excitador DRM ubicado en la planta transmisora, tal como se muestra en la figura 3.17.

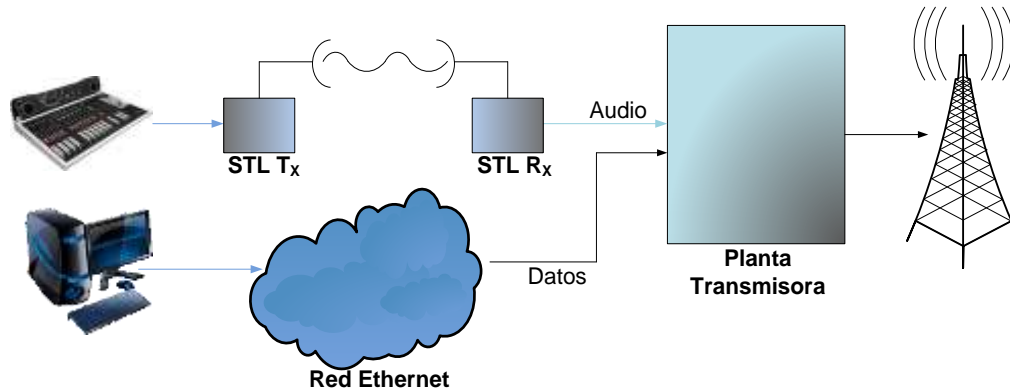


Figura 33 STL Utilizando Red Ethernet para la Transmisión de Datos

- Cuando no se cuenta con una red Ethernet para enviar los datos, estos pueden ser transportados por el mismo STL haciendo uso de un modem/multiplexor para transmisión y un modem/demultiplexor en recepción. Esta opción se representa en la figura 3.18.

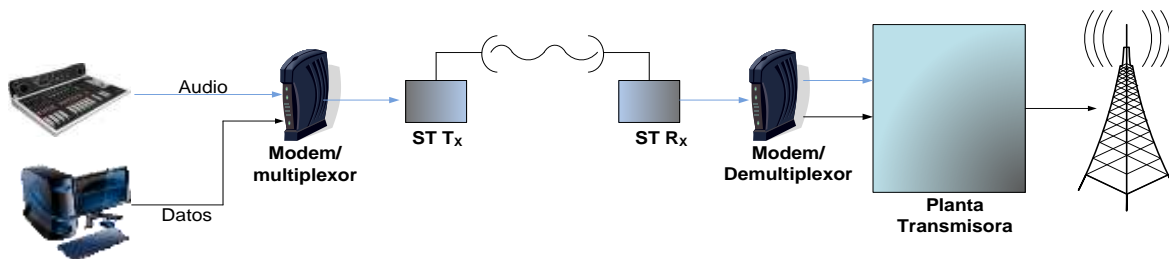


Figura 34 STL Utilizando un Modem/Demultiplexor para la Transmisión de Datos

Sin embargo, a largo plazo, el cambio de los actuales STLs es necesario por la variación de los parámetros de la señal y por los requerimientos de los nuevos servicios, debido a las exigencias y creación de nuevos servicios. En un futuro inmediato se debe analizar la necesidad de implementar características de mayor ancho de banda en el STL, debido a que los servicios que actualmente se prestan en los sistemas de radiodifusión sonora, requieren de un ancho de banda menor al que necesitan los sistemas que incluyen servicios basados en datos, por ejemplo; los STLs utilizan modulación FM, que requieren mayor ancho de banda que los sistemas con modulación AM, siendo suficiente para enviar el audio básico y texto corto relacionado con el programa, por medio del Sistema de Radiocomunicaciones de Datos (RDS, *Radio Data System*).

### 3.5.3 Transmisor

A continuación se presentan algunas observaciones relacionadas con la reutilización de equipos analógicos dentro del proceso de migración:



Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez

### 3.5.3.1 Ubicación del transmisor

La utilización de los mismos sitios de transmisión del actual sistema de radiodifusión analógica, permite cumplir con las exigencias del Plan Técnico de Radiodifusión Sonora en AM [30] para los sitios de transmisión. Se deben considerar diferentes aspectos en el proceso de planeación para la inclusión del sistema digital, como la necesidad de instalación de nuevos equipos, la expansión de cobertura o la sustitución total del sistema analógico, además de garantizar según especificaciones técnicas del estándar DRM, que el modulador digital permanecerá en la planta transmisora.

### 3.5.3.2 Transmisor

Para establecer una óptima migración a un esquema de radiodifusión digital sonora en una estación de radio, es importante conocer el estado y la clase de los transmisores AM utilizados en los sistemas analógicos actuales, con el objeto de analizar la posibilidad de reutilizar bajo ciertas modificaciones los transmisores en operación. De acuerdo a lo estudiado anteriormente, los transmisores adecuados corresponden a los de estado sólido con principios de modulación basados en técnicas PWM. Si por el contrario se cuenta con transmisores demasiados antiguos, el costo de sus modificaciones y/o adaptaciones es muy alto en comparación con los precios de los transmisores modernos, resultando como mejor opción la adquisición de un nuevo transmisor.

Tomando como referencia la estación de radiodifusión AM descrita en el anexo 2 sección 1, la arquitectura del componente transmisor que más se adecua al entorno colombiano es el proporcionado en la figura 3.19.



Figura 35 Composición del Modelo de Transmisión

Como se puede observar en la figura 3.19, el bloque de transmisión está compuesto por los siguientes módulos:

- Excitador Digital. Encargado de tomar las señales provenientes del STL con el propósito de codificar, multiplexar y organizar la información según las especificaciones de la tecnología DRM, consiguiendo conformar la señal OFDM para entregarla finalmente al modulador DRM.
- Modulador DRM. Incluye la aplicación de la técnica A/RFP a la señal proveniente del excitador, para suministrar una señal en sus componentes individuales al transmisor DRM.
- Transmisor DRM. Su función es amplificar las componentes provenientes del excitador y mezclarlas, para al final alcanzar la señal de RF a transmitir.

### 3.5.4 Transmisión *Simulcast*

Debido a los cambios que experimentan las telecomunicaciones en el mundo en la prestación de los nuevos servicios digitales, específicamente la radio, es claro para los



Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez

organismos de radiodifusión, fabricantes, usuarios y emisoras que el apagón analógico en el proceso de la difusión de información es inminente. Previendo la ocurrencia de este evento, es necesario contar con mecanismos que permitan a las emisoras la reutilización de sus sistemas analógicos, como también proporcionar a los radioyentes la opción de seguir utilizando sus receptores analógicos, hasta que los actuales receptores digitales sean más asequibles al público. Para tal fin es importante que los radiodifusores emitan los mismos programas tanto analógico como digital; y es por eso que en esta sección se propone un esquema en donde se evidencia una manera de transmitir la señal AM y DRM hacia el sistema radiante para su posterior propagación, como se muestra en la figura 3.20, en donde se observan los siguientes bloques:

- Transmisor. Se encarga de realizar el procesamiento correspondiente a la señal, para obtener a la salida la señal requerida.
- Filtro. Su función es permitir el paso de un determinado rango de frecuencias de la señal proveniente del transmisor, atenuando las demás.
- Diplexor. Elemento cuyo propósito es tomar las señales provenientes de diversos transmisores con el fin de alimentar un mismo sistema de antena.

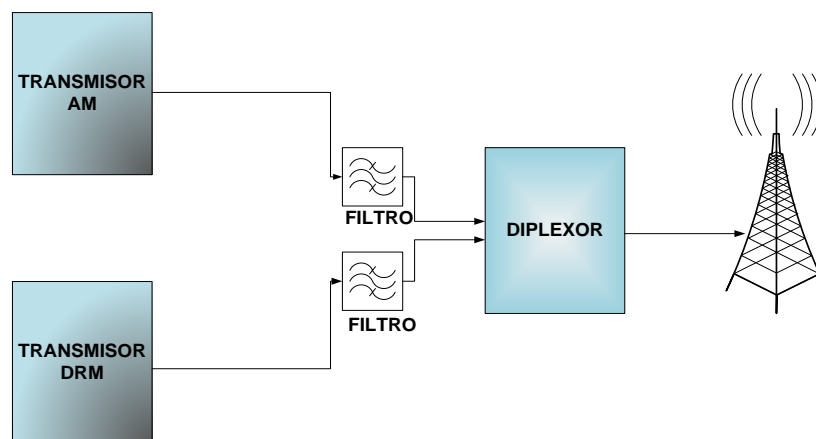


Figura 36 Esquema de Transmisión *Simulcast*

Como se indica en la figura 3.20 las señales AM y DRM provenientes de dos transmisores que operan con distinta frecuencia, son seleccionadas por medio de filtros pasa banda para luego trasladarlas al diplexor, el cual las combina permitiendo alimentar un mismo sistema de antena.

### 3.6 REQUERIMIENTOS TECNICOS

El objetivo primordial de los siguientes requerimientos técnicos es establecer las condiciones necesarias sobre las cuales se presta un servicio con buena calidad y cobertura en diferentes regiones geográficas. Los parámetros a tenerse en cuenta para lograr este objetivo son: relación de S/N (referirse al anexo 1 sección 4), e intensidad de campo.



### 3.6.1 Valores para la Mínima Intensidad de Campo Utilizable

La mínima intensidad de campo utilizable, también conocida como la sensibilidad del receptor, depende del receptor y del ruido. Para calcular esta intensidad se hace uso de los valores de S/N y del procedimiento descrito en la tabla 3.8.

Tabla 28 Método Utilizado para Encontrar la Mínima Intensidad de Campo Utilizable [16].

		Doble Banda Lateral AM (DSB)	Digital
Calidad requerida en la recepción		S/N = 26 dB	BER = $1 \times 10^{-4}$
C/N para la calidad requerida		36,5 dB	-
Ancho de banda de IF del receptor		8 KHz	10 KHz
Sensibilidad del receptor para la C/N (dB $\mu$ V/m)	MW	60	24,5 + x
	SW	40	4,5 + x
Ruido intrínseco del receptor relacionado a la intensidad de campo, sobre la sensibilidad	MW	23,5 (dB $\mu$ V/m)	24,5 (dB $\mu$ V/m)
	SW	3,5 (dB $\mu$ V/m)	4,5 (dB $\mu$ V/m)

Según la tabla 3.8, el parámetro que establece la mínima intensidad de campo utilizable en un sistema de radiodifusión analógica (DSB) es la relación S/N de 26 dB con una modulación del 30% (-10,5dB), conforme a la recomendación “*Características de los receptores de referencia de radiodifusión sonora con modulación de amplitud para fines de planificación*” [25]; igualmente en el sistema DRM se usa la S/N para lograr la BER de  $10^{-4}$ . En fin, para una calidad requerida, la C/N se determina restando a la S/N el porcentaje de modulación, como se indica en la ecuación (3.9):

$$C/N(\text{dB}) = S/N - (\% \text{modulación}) = 26 - (-10,5) = 36,5 \text{ dB} \quad (3.9)$$

Es importante aclarar que dependiendo del receptor utilizado, se hace uso de la expresión de S/N o C/N, según corresponda; es decir, en el caso de un receptor analógico la expresión C/N es utilizada, en caso contrario sería la S/N.

Los valores de sensibilidad del receptor para la C/N mostrados en la tabla 3.8, provienen de la recomendación “*Características de los receptores de referencia de radiodifusión sonora con modulación de amplitud para fines de planificación*” [25]. En ella se evidencia que los datos suministrados obedecen a la banda de frecuencia utilizada. Por consiguiente, para definir el ruido intrínseco del receptor analógico, se le resta a la sensibilidad del receptor la C/N del sistema, como se muestra en la ecuación (3.10).

$$Ri(\text{dB}\mu\text{V/m}) = Sr - C/N \quad (3.10)$$

donde  $Ri$  = Ruido Intrínseco y  $Sr$  = Sensibilidad del Receptor.

Ahora bien para encontrar el ruido intrínseco de un receptor digital, se suma 1 dB al  $Ri$  suministrado por el receptor de DSB, como se especifica en la ecuación (3.11).

$$Ri(\text{dB}\mu\text{V/m}) = Ri + 1 \text{ dB} \quad (3.11)$$





donde  $Rid$  = Ruido Intrínseco digital.

En el caso de la radiodifusión digital, la mínima intensidad de campo utilizada se encuentra usando la ecuación (3.12).

$$Micu(dB\mu V/m) = Rid + S/N \quad (3.12)$$

Retomando la última ecuación en donde la relación S/N es la misma  $x$  que aparece en la tabla 3.8, se presentan a continuación los valores de mínima intensidad de campo para alcanzar una BER de  $10^{-4}$ , dependiendo de la banda utilizada.

➤ En la Banda MW.

Para proporcionar los valores, se tiene en cuenta el modo de robustez con diferentes constelaciones QAM, niveles de protección y ancho de banda del canal, como se indica en las tablas 3.9 y 3.10.

**Tabla 29 Mínima Intensidad de Campo Utilizable para la Banda de MW con Ancho de Banda de 9/10 KHz, Modo de Robustez A y Propagación de Onda de Superficie [16].**

Esquema de modulación (QAM)	Nivel de protección	Tasa de codificación	Intensidad de Campo (dB $\mu$ V/m)
16	0	0,5	33,1
	1	0,62	35,2
64	0	0,5	38,6
	1	0,6	39,8
	2	0,71	41,6
	3	0,78	43,2

**Tabla 30 Mínima Intensidad de Campo Utilizable para la Banda de MW con Ancho de Banda de 9/10 KHz, Modo de Robustez A y Propagación de Onda de Superficie e Ionosférica [16].**

Esquema de modulación (QAM)	Nivel de protección	Tasa de codificación	Intensidad de Campo (dB $\mu$ V/m)
16	0	0,5	33,9
	1	0,62	37
64	0	0,5	39,4
	1	0,6	40,8
	2	0,71	43,7
	3	0,78	46,5

De las tablas 3.9 y 3.10, se puede concluir que el campo mínimo utilizable en la banda de MW con ancho de banda de 9/10 KHz y una BER de  $10^{-4}$  sería de 33,1 dB $\mu$ V/m.

➤ En la banda SW.

Para proporcionar los valores se tiene en cuenta el modo de robustez, las diferentes constelaciones QAM, los niveles de protección, y el ancho de banda del canal, como se indica en las tablas 3.11, 3.12 y 3.13.



**Tabla 31 Rango de la Mínima Intensidad de Campo Utilizable para la Banda de SW con Ancho de Banda de 10 KHz, Modo de Robustez B y Propagación de Onda Inosferica [16].**

Esquema de modulación (QAM)	Nivel de protección	Tasa de codificación	Modelo del canal N <sub>o</sub>		
			3	4	5
16	0	0,5	22,5	20,5	19,1
	1	0,62	25,3	23,5	22,2
64	0	0,5	27,8	25,8	24,6
	1	0,6	29,9	28	27,2

**Tabla 32 Rango de la Mínima Intensidad de Campo Utilizable para la Banda de SW con Ancho de Banda de 10 KHz, Modo de Robustez C y Propagación de Onda Inosferica [16].**

Esquema de modulación (QAM)	Nivel de protección	Tasa de codificación	Modelo del canal N <sub>o</sub>		
			3	4	5
16	0	0,5	22,5	21	19,1
	1	0,62	25,4	23,6	22,1
64	0	0,5	28,1	25,8	24,7
	1	0,6	30,1	28,2	26,8

**Tabla 33 Rango de la Mínima Intensidad de Campo Utilizable para la Banda de SW con Ancho de Banda de 10 KHz, Modo de Robustez D y Propagación de Onda Inosferica [16].**

Esquema de modulación (QAM)	Nivel de protección	Tasa de codificación	Modelo del canal N <sub>o</sub>			
			3	4	5	6
16	0	0,5	23	21,4	19,8	20,5
	1	0,62	25,7	24,4	22,8	23,7
64	0	0,5	28,7	26,7	25,3	26,6
	1	0,6	30,8	29	27,4	29,7

En general, en las tablas 3.11, 3.12 y 3.13 se puede observar que los niveles de protección 2 y 3 del esquema de modulación 64-QAM no están presentes, debido a la gran cantidad de errores de bits (causados por la débil protección de error) presentes incluso en las altas relaciones de señal a ruido.

Se puede resumir que el campo mínimo utilizable en la banda de SW con ancho de banda de 10 KHz, esquema de modulación de 64-QAM, modo de robustez B y una BER de  $10^{-4}$  sería de 19,1 dB $\mu$ V/m, para un modo de robustez C sería de 19,1 dB $\mu$ V/m y para un modo de robustez D sería de 19,8 dB $\mu$ V/m.

### 3.7 REQUERIMIENTOS DE SERVICIOS PARA PRESTAR EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN TERRESTRE

La ITU R especifica algunos requisitos bajo la recomendación “Requisitos de servicio de la radiodifusión sonora digital para frecuencias inferiores a 30 MHz” [36], tal como se muestra en la tabla 3.14, con el objetivo de permitir a los diseñadores vencer las deficiencias de la calidad de audio e introducir nuevos servicios. A cada una de las características del sistema se le establece un grado de importancia a través de las siguientes denominaciones:

A = Obligatoria B = Muy deseable C = Deseable



**Tabla 34 Requisitos para el Servicio de Radiodifusión Digital [17].**

<b>Características de los sistemas</b>	<b>Importancia</b>
<b>1. Requisito de la norma del sistema</b> a) El receptor digital debe funcionar en todo el mundo.	A
<b>2. Capacidad para una transición gradual del sistema analógico al sistema digital</b> a) Radiodifusión simultánea (« <i>simulcast</i> ») (el sistema analógico y el sistema digital comparten un solo canal).	A
<b>3. Difusión de datos</b> a) Audio y datos; es decir capacidad de difusión de datos. b) Provisión de control de acceso y aleatorización.	B C
<b>4. Requisitos de la calidad de audio</b> a) Calidad de audio mejorada con respecto a la de los sistemas analógicos equivalentes. b) Capacidad estereofónica.	A B
<b>5. Eficiencia espectral</b> a) Una sola frecuencia desde transmisores geográficamente separados o coubicados. b) Cumple los requisitos de la ITU con respecto al ancho de banda y a la separación de canales en RF. c) Posible interferencia no superior a la modulación de amplitud equivalente. d) Susceptibilidad a la interferencia no superior a la de la modulación de amplitud equivalente.	B A A A
<b>6. Fiabilidad de los servicios</b> a) Mejora en la fiabilidad de la recepción. b) Disminución importante de la susceptibilidad a los efectos del desvanecimiento. c) 1. Conmutación de frecuencia automática en el receptor. 2. Conmutación de frecuencia automática en el receptor inaudible. d) Recepción en vehículos, portátil y fija. e) Sintonía rápida. f) Degradación gradual. g) Mantenimiento de la zona de cobertura. h) Buena recepción en interiores.	A A A C A A B A A
<b>7. Información del servicio para selección de sintonía</b> a) Selección simplificada de servicios utilizando datos relacionados con el programa para seleccionar la emisora y el contenido del programa.	B
<b>8. Consideraciones sobre el sistema de</b>	



<p><b>transmisión</b></p> <p>a) Utilización de los actuales transmisores modernos capaces de funcionar con sistemas digitales y analógicos.</p> <p>b) Ahorro de potencia cubriendo la misma zona de servicio con la misma fiabilidad de servicio.</p> <p>c) Las emisiones no esenciales y fuera de banda deben cumplir la reglamentación de la ITU.</p>	<p>A</p> <p>C</p> <p>A</p>
<p><b>9. Consideraciones sobre el receptor</b></p> <p>a) La complejidad del sistema no debe impedir la fabricación de receptores de bajo coste.</p> <p>b) La complejidad del sistema debe permitir la fabricación de receptores alimentados por pilas con un bajo consumo de potencia.</p>	<p>A</p> <p>B</p>
<p><b>10. Compromiso variable</b></p> <p>a) Posibilidad de seleccionar los parámetros del sistema dependiendo de los requisitos del organismo de radiodifusión.</p>	<p>B</p>

Este capítulo abarca tanto el análisis de la base teórica respecto a las modificaciones/adaptaciones de la cadena transmisora, como los requerimientos técnicos que se deben tener en cuenta para prestar los nuevos servicios de la radiodifusión digital, entre otras características, mediante la utilización del estándar DRM; esta fase conlleva a adquirir parcialmente, la información necesaria para llegar a determinar, posteriormente, la viabilidad de la implementación del sistema de radiodifusión sonora con el estándar DRM en el territorio colombiano.



## **CAPITULO IV – VIABILIDAD TÉCNICA DELA IMPLEMENTACION DEL ESTÁNDAR DRM EN COLOMBIA**

La inclusión de la radiodifusión en el proceso de la convergencia digital, impulsa al gobierno colombiano a generar estudios relacionados con el análisis y evaluación de los estándares de radiodifusión digital para determinar la viabilidad de la implementación de esta tecnología en el país. Tomando como referencia el proceso dado en Colombia para la selección del estándar Televisión Digital Terrestre DVB-T, se planteó la necesidad de realizar estudios técnicos que permitan conocer las ventajas y desventajas de los diferentes estándares que proveen este servicio.

Teniendo en cuenta esta experiencia, después de analizar las características técnicas del estándar de radiodifusión sonora digital DRM el cual permite conocer sus requerimientos de operación, y tomando como referencia la situación del sistema analógico actual, en esta sección se definen y evalúan criterios relevantes que permitan determinar la viabilidad técnica de la implementación del estándar DRM en Colombia, haciendo énfasis en las bandas de frecuencias inferiores a los 30 MHz, específicamente en SW y MW.

### **4.1 DEFINICIÓN DE CRITERIOS PARA LA EVALUACION DE LA VIABILIDAD TÉCNICA**

Con base en el análisis del sistema DRM presentado en los anteriores capítulos, se definen a continuación los criterios de evaluación de la viabilidad técnica de la implementación del estándar en el entorno colombiano.

#### **4.1.1 Criterio I. Calidad de Audio**

La calidad de la señal de audio digital en las bandas MW y SW debe ser comparable con la ofrecida por los sistemas actuales de radiodifusión sonora en FM, y superar la calidad de los sistemas de radiodifusión sonora en AM; para ello las técnicas de codificación y compresión deben cumplir con las recomendaciones de calidad de Audio Objetiva y Subjetiva, definidas por la ITU [26] [27].

#### **4.1.2 Criterio II. Confiabilidad del Circuito de Transmisión**

El sistema debe permitir la configuración de parámetros de transmisión, y adaptarse a diferentes condiciones de propagación. Cuando los porcentajes de calidad de Audio Objetiva no superan el umbral, la forma de comprobar la confiabilidad del sistema de transmisión en diversas condiciones de propagación se efectúa variando los parámetros de transmisión, entre ellos los modos de robustez, las tasas de codificación y las constelaciones QAM, con el fin de obtener un nivel aceptable en la calidad de la señal.

#### **4.1.3 Criterio III. Niveles de Potencia y Zona de Cobertura**

La potencia utilizada en la transmisión se debe considerar en la obtención de niveles adecuados de recepción. Es necesario analizar qué valores puede tomar este parámetro, teniendo en cuenta las recomendaciones dadas para un sistema de radiodifusión digital, garantizando la coexistencia con el actual sistema analógico durante el proceso de migración.



#### **4.1.4 Criterio IV. Compatibilidad con el Actual Sistema Analógico de Radiodifusión Sonora**

El sistema analógico actual debe permitir modificaciones y/o adaptaciones según las condiciones de emisión del sistema DRM, en procura tanto de mejorar la confiabilidad de la señal como de prestar los servicios que ofrece este sistema de radiodifusión sonora digital, sin dejar de lado la coexistencia entre señales analógicas y digitales que facilitará la migración de los sistemas existentes al nuevo sistema de radiodifusión sonora, disminuyendo el posible impacto en el contexto colombiano.

#### **4.1.5 Criterio V. Consideraciones Sobre Distribución de Canales**

La introducción de la tecnología digital para radiodifusión sonora, puede requerir el cambio de la vigente distribución del espectro en el país, así, es necesario evaluar los requerimientos de ancho de banda y separación entre canales para evitar interferencias inadmisibles.

#### **4.1.6 Criterio VI. Manejo del Espectro de Forma Eficiente**

El sistema de radiodifusión sonora digital debe permitir el uso eficiente del espectro radioeléctrico, con el fin de obtener mejor calidad y mayor capacidad de envío de información en los anchos de banda existentes para SW y MW (4,5 KHz y 10 KHz en Colombia), y para optimizar la actual adjudicación de los canales de radio contenidos en el Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en AM [30].

#### **4.1.7 Criterio VII. Requerimientos de Servicios**

Para prestar el servicio de radiodifusión sonora digital, es indispensable la recomendación ITU [17] que define las características primordiales que debe cumplir cualquier estándar de radio digital que opere en frecuencias inferiores a 30 MHz, descritas en la sección 3.7 del capítulo 3.

### **4.2 EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS**

La evaluación de los 7 criterios definidos con anterioridad, se realiza considerando los aspectos analizados en los capítulos 1, 2 y 3, justificados de la siguiente manera:

- Los resultados obtenidos en las pruebas de desempeño del sistema de transmisión DRM llevadas a cabo en otros países del mundo como México, Brasil y España, que fueron analizadas en el capítulo 1, constituyen una base empírica que contribuye en la realización de una buena planificación para su posterior implementación en el contexto colombiano, debido a que los puntos donde se tomaron las mediciones representan escenarios con diversas formas de propagación, que pueden ser similares a las condiciones del territorio nacional; por ejemplo, Ciudad de México, es una ciudad que cuenta con niveles de ruido eléctrico superiores a los medidos en otras ciudades del mundo, por lo que puede representar entornos con mucho tráfico vehicular, zonas industriales, aeropuertos, entre otros.



*Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez*

- Los parámetros de transmisión ya descritos y la comparación con el sistema IBOC-AM ponen en evidencia las fortalezas, las ventajas y oportunidades que genera la utilización del sistema DRM.
- Las facilidades que proporciona el sistema DRM para permitir la reutilización de componentes del sistema analógico de radiodifusión sonora descritos en la sección 1 del anexo 2.

#### **4.2.1 Criterio I**

En el anexo 1 (Sección 6. Parámetros medidos más importantes), según la definición del concepto de Calidad Objetiva de Audio que corresponde al porcentaje de tramas sin error presentes en el receptor, se deben considerar los siguientes aspectos:

- Si el porcentaje es del 100% entonces la calidad de audio objetiva en destino, es idéntica a la calidad de audio objetiva en la fuente.
- Para un porcentaje mayor o igual al 98%, la calidad de audio se considera aceptable al tener una degradación mínima.
- Si el porcentaje es menor al 98%, el audio se escucha entrecortado debido a la cantidad de errores percibidos por el receptor.

El porcentaje de calidad de audio objetiva es un indicador de la robustez de la señal digital en presencia de los fenómenos de propagación; altos niveles en este porcentaje indican menores probabilidades de error, y viceversa.

La Calidad Subjetiva de audio es medida de acuerdo a la escala de apreciación del radioescucha, quien asigna un valor conforme a la calidad de la señal percibida, que puede ser analógica o digital, tal como se observa en la tabla 4.1.

**Tabla 35 Valores Asociados con la Calidad Subjetiva de Audio [27]**

CALIDAD		DEGRADACION	
Escala	Concepto	Escala	Concepto
5	Excelente	5	Imperceptible
4	Buena	4	Perceptible pero no molesta
3	Adecuada	3	Ligeramente molesta
2	Insuficiente	2	Molesta
1	Mala	1	Muy molesta

El análisis de las pruebas realizadas en distintas ciudades, en las que se tomaron medidas teniendo en cuenta escenarios fijos, móviles, interiores, exteriores, entre otros, permiten evaluar este criterio y concluir que DRM cumple con los requerimientos de calidad de Audio Objetiva y Subjetiva, como se indica a continuación.

#### **Pruebas en SW**

- En la prueba realizada en el 2005 en México D.F con la configuración 18KHz/16/4/0,5, el porcentaje de calidad de audio obtenido en recepción fija fue superior al 98% en 19 de los 24 puntos de medida, siendo aceptable al considerar



Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez

que la potencia de transmisión es baja. De los 5 puntos donde no se superó el 98%, en tres de ellos las medidas fueron muy cercanas al valor mínimo, y en 2 de ellas sí hubo una gran diferencia. En la tabla 16 del anexo 1, se puede apreciar que si disminuye la robustez al modo A, o se aumenta la constelación en el modo B de 16-QAM a 64-QAM, el porcentaje de calidad de audio objetiva disminuye.

La prueba en recepción móvil, con el modo de robustez B, 10 KHz de ancho de banda, constelación 16-QAM para MSC, 4-QAM para SDC y tasa de codificación 1/2, el porcentaje de calidad de Audio Objetiva obtenido no fue superior al recomendado por la ITU, como se muestra en la tabla 1.8 de la sección 1.9.1, indicando este caso de evaluación que la señal en recepción móvil sufre mayor degradación que en recepción fija.

- En el anexo 1 (Sección 7. Resultados de la recepción fija) se analizaron los resultados de la prueba realizada en Brasil, donde la configuración del transmisor es muy similar a la de México (Tabla 20, sección 7). Los resultados obtenidos en esta prueba son mejores que los anteriormente analizados, tanto en recepción fija como en móvil, indicando que las condiciones de propagación en México son más críticas; esto se debe a que en México el nivel de ruido externo hecho por el hombre, está muy por encima de los niveles recomendados por la ITU.

#### Prueba en MW

- En la prueba realizada en Madrid, España, la calidad de audio objetiva supera el valor mínimo recomendado por la ITU de la siguiente manera: en recepción fija el porcentaje promedio fue mayor al 98% en 51 de los 52 puntos de medida, con la configuración de los parámetros de transmisión descritos en la sección 8 del anexo 1 (resultados de recepción fija); la potencia de transmisión de 10 KW juega un papel importante en este caso, al proporcionar el nivel de S/N que garantiza buena recepción de la señal. Para recepción Móvil, en 31 de las 39 rutas se obtuvo una calidad mayor al umbral (98%), mientras que en los 8 restantes el porcentaje fue inferior, tal como se muestra en la sección 8 del anexo 1.

Cuando las pruebas se realizaron en espacios interiores, los resultados consignados en la tabla 26 del anexo 1, permiten concluir que para edificios altos el nivel de ruido aumenta ya sea por el cableado estructurado o por la cantidad de acero presente en la estructura, lo que hace más difícil la recepción de la señal digital.

- En la prueba de *simulcast* realizada en la ciudad de Madrid, sección 8 del anexo 1 (calidad de servicio analógico) la calidad de audio subjetiva de la señal analógica fue superior a 3,5 indicando que la señal digital del sistema DRM cumplía con las relaciones de protección DRM-AM (servicio de radiodifusión analógico interferido por servicio de radiodifusión digital ubicado en el canal adyacente).

Las ciudades grandes de Colombia presentan características muy similares a las ciudades donde se realizaron las pruebas que acaban de ser analizadas, en cuanto a edificaciones, calles estrechas y anchas, y ruido hecho por el hombre, entre otras; por lo tanto, los resultados de las pruebas de desempeño del sistema DRM realizadas en estos países, pueden ser tenidos en cuenta en el análisis de la viabilidad técnica en el territorio





colombiano, porque se prevé que la calidad de audio objetiva de los sistemas DRM en el país alcanzaría porcentajes superiores al 98%, para cualquier escenario del territorio.

#### **4.2.2 Criterio II**

Los modos de robustez A, B, C y D, se escogen de acuerdo a las condiciones típicas de propagación de la señal, como se indica en la tabla 1.3 del primer capítulo, y se configuran los parámetros de transmisión del sistema DRM para hacer frente a los efectos de canal de la siguiente manera:

- Las constelaciones 16-QAM y 64-QAM para el MSC permiten al sistema distintas velocidades de transmisión de datos con mayor o menor robustez, donde 16-QAM es menos afectado por el ruido que 64-QAM; sin embargo, esta última constelación ofrece mayor eficiencia espectral al permitir enviar más bits por símbolo QAM. En la tabla 20 sección 7 del anexo 1 se relaciona la experiencia de Brasil, donde se observan diferentes configuraciones de los esquemas de modulación en los modos de robustez y las velocidades de transmisión de datos obtenidas para SW. Los resultados de la prueba realizada en México, consignados en la tabla 16 sección 6 anexo 1, demuestran que al disminuir la constelación de 64-QAM a 16-QAM, el porcentaje de calidad de audio objetiva aumenta, aunque la capacidad de transmisión disminuye.
- Se establecen diferentes tiempos de guarda para minimizar el efecto multitrayecto en diversas condiciones de propagación, como se observa en la tabla 1.4 del capítulo 1.
- El estándar permite configurar distintas tasas de codificación para ofrecer mayor confiabilidad mediante el proceso de detección y corrección de errores, como se muestra en la sección 2 del anexo 1.
- El sistema DRM utiliza el entrelazado, que consiste en distribuir de forma aleatoria los símbolos para mitigar el efecto de desvanecimiento profundo.

Del análisis de las pruebas realizadas en Ciudad de México, Madrid y Brasilia, se deduce que DRM puede adaptarse a las condiciones de propagación de cualquier entorno, haciendo una elección adecuada de los parámetros de transmisión. Por ejemplo, en México, el nivel de ruido excesivo no permitió que se alcanzara una calidad de audio adecuada con el modo de robustez A, pero este inconveniente fue superado escogiendo el modo de robustez B con 16-QAM que lo hace más robusto frente al esquema de modulación 64-QAM. Además, la recepción fija está en un nivel promedio de buena aceptación, como se puede observar en la tabla 16 del anexo 1.

La diversidad de escenarios en Colombia, hace necesaria la implementación de un estándar de radiodifusión digital con capacidad adaptativa a los cambios de propagación, como lo permite DRM mediante la configuración de los distintos parámetros de transmisión. El entorno colombiano con relieve irregular y altamente montañoso, y sus grandes ciudades como Medellín, Santa Fe de Bogotá, entre otras, representan escenarios de alto nivel de ruido y multitrayecto; sus características son comparables a los escenarios analizados en el capítulo 1, donde se advierte que la ciudad de México posee un nivel de ruido muy superior a lo recomendado por la ITU.



### 4.2.3 Criterio III

En la evaluación de este criterio de decisión, se tiene en cuenta el nivel de potencia de transmisión con el que se introduce la señal digital en un entorno donde ya existen estaciones de radiodifusión sonora, con el objetivo de no causar interferencias intolerables en sus zonas de cobertura. Al implementar un sistema de radiodifusión digital debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- La ITU especifica que la cobertura alcanzada por una estación sonora analógica de MW con propagación en onda de superficie, es la misma que se logra en un sistema DRM cuando la potencia de la señal transmitida por el sistema digital es 7 dB menor que la potencia de la señal analógica en condiciones reales de propagación [21]. En SW la cobertura es similar si la diferencia de potencias es 4 dB [21]. Estos valores de potencia son dados de acuerdo a las mediciones realizadas por la ITU teniendo en cuenta las relaciones de protección, para garantizar la operación adecuada de los sistemas cuando se presenten simultáneamente emisiones analógicas y digitales de diferentes radiodifusores [21].
- La ITU determinó que, si una estación sonora con emisión completamente analógica cumple con las relaciones de protección co-canal y canal adyacente establecidos actualmente, la reducción en el valor de la potencia de la señal digital respecto a la de la señal analógica, garantiza las relaciones de protección presentadas en la sección 3.2.2, posibilitándose la coexistencia entre sistemas analógico-digital, digital-analógico y digital-digital de diferentes radiodifusores [16].
- La ETSI recomienda que debe mantenerse en transmisión *simulcast* una diferencia de potencias entre la señal analógica y digital de 16 dB, con el objeto de alcanzar niveles tolerables en la interferencia de canal adyacente entre la señal digital y la analógica [13]. La prueba realizada en Madrid analizada en el anexo 1 sección 8 para transmisiones en *simulcast* demuestra este hecho, al obtenerse una calidad de audio mayor al 98% en el 87,9% de los 33 puntos de medida (tabla 30 del anexo 1). En esta misma prueba también se encuentra que la cobertura de la señal analógica (13 Km) es mayor que la cobertura de la señal digital (7 Km).

Tanto la cobertura como la intensidad de campo al utilizar la banda SW en las pruebas realizadas en los países de México y Brasil, están consignadas en la tabla 1.8 del capítulo I, en donde la intensidad de campo de 40 dB $\mu$ V/m es menor a la utilizada por el sistema en AM. Al comparar estas intensidades con las dadas en la tabla 3.11 del capítulo 3, se nota que los valores proporcionados por las pruebas son distintos a los de la tabla, ya que en ella se consideran los modelos de canal, descritos en la sección 4 del anexo 1, además, también hay que considerar que en escenarios reales, la intensidad de campo disminuye al aumentar la distancia desde el transmisor.

Por otra parte, en las pruebas realizadas en la ciudad de Madrid, se alcanzó una cobertura en la banda MW de hasta 15 Km, donde no se obtuvo un valor promedio de intensidad de campo debido a la variabilidad de las medidas de este parámetro, como se describe en el anexo 1 sección 8 (resultados de la recepción móvil, resultados de la recepción fija). La intensidad de campo para este tipo de banda (MW) según la ITU-R BS 1615 [16], está descrita en la tabla 3.9 y 3.10 del capítulo 3.



Para Colombia, la reducción en la potencia de transmisión es importante en aspectos como:

- La zona de cobertura no se incrementa (en corto plazo), entonces las distancias de protección entre transmisores que operan en el mismo canal y canal adyacente, especificadas en la sección 4.21 del Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en AM[30], no tienen que ser modificadas inicialmente, ya que estas distancias son establecidas bajo las recomendaciones de la ITU para evitar interferencias objetables entre servicios analógicos. Este criterio se cumple en Colombia si se conservan las relaciones de protección entre los sistemas digitales y analógicos.

#### **4.2.4 Criterio IV**

El análisis relacionado con la compatibilidad de la señal DRM y los equipos del actual sistema analógico realizado en el capítulo 3, permiten evaluar el cumplimiento de este criterio al considerar los siguientes aspectos:

- Transmisión totalmente digital. Los transmisores analógicos pueden ser reutilizados si cumplen con las consideraciones de ancho de banda y manejo de potencia, explicadas en las secciones 3.1.2 y 3.1.3 del capítulo 3, por lo que los transmisores más modernos logran cumplir con estos requisitos, como se describe en la sección 3.1.6. Además, las antenas, el enlace STL y los equipos del estudio, también se adaptan a las nuevas características de transmisión DRM detalladas en la sección 3.3.1, 3.5.1 y 3.5.2.
- Transmisión *Simulcast*. Para la transmisión simultánea de la señal digital y la analógica, el transmisor analógico es muy útil si las señales DRM y AM se originan en transmisores separados, tal como se explica en la sección 3.5.4.

La posibilidad de reutilizar los dispositivos de transmisión de AM resulta importante para los radiodifusores del país, ya que permite realizar una transición suave con una disminución de costos considerable. Algunos radiodifusores en Colombia operan con transmisores de estado sólido. En el anexo 1 sección 9, se presenta un ejemplo de estos transmisores, los cuales permiten realizar las adaptaciones pertinentes para operar en radiodifusión digital. En *simulcast* se puede utilizar tanto los transmisores de tubos como los de estado sólido, de acuerdo a la configuración presentada en el capítulo 3 sección 3.5.4 de este documento.

#### **4.2.5 Criterio V**

El actual Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en AM[30], especifica la canalización y distribución de frecuencias por departamentos en el territorio nacional para las bandas de MW y SW; se determina una separación entre canales de 10 KHz para MW, y de 5 y 10 KHz en SW como fue descrito en la sección 4 del anexo 2; por lo tanto, DRM inicialmente debe ajustarse a los siguientes requerimientos técnicos:

- En el modo completamente digital, el sistema DRM puede emitir su señal en diversos anchos de banda como 5, 10, 20 KHz para la región 2.



Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez

- En la transmisión simultánea de las señales DRM y AM, el estándar especifica distintas formas de distribución del espectro, tal como se describe en el capítulo 2 sección 2.1.2.3, utilizando un ancho de banda total de 10 KHz.

Así, la implementación del sistema DRM puede operar en Colombia bajo la distribución de frecuencias vigente en MW y SW, con las limitaciones de cantidad y calidad de servicios que se pueden ofrecer con los anchos de banda de 4,5 KHz y 10 KHz.

- El ancho de banda de 10 KHz coincide con el dispuesto en la normativa vigente para la clase de emisión A3E en MW en Colombia, además con este ancho de banda, es posible transmitir en *simulcast*, aunque con los 4,5 KHz asignados a la señal digital, las velocidades de transmisión de datos alcanzadas para el MSC en los modos de robustez A y B no permiten ofrecer una calidad de audio cercana a la FM mono.
- Para emisión J3E en SW, DRM define una ocupación del espectro 4,5 KHz y 5 KHz, teniendo en cuenta que solo hay resultados para la segunda ocupación (5 KHz). Hay que tener en cuenta que el ancho de banda en SW, no es adecuado para una transmisión *simulcast*, ya que para este tipo de transmisión el estándar DRM requiere un mínimo de 10 KHz, y un óptimo de 18/20 KHz.

#### 4.2.6 Criterio VI

Contrario a las especificaciones de IBOC-AM que necesita de un ancho de banda de 15 KHz para transmisión *simulcast*, DRM permite a los operadores de radiodifusión digital del país seguir utilizando sus canales radioeléctricos asignados, sin necesidad de una nueva adjudicación de las frecuencias en las bandas MW y SW, debido a que la ocupación del espectro de 5 KHz y 10 KHz se ajusta a las condiciones establecidas en el Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en AM [30].

En radiodifusión AM solo se puede enviar un programa por cada canal de radio; DRM soluciona este problema permitiendo la transmisión de múltiples servicios de audio y datos en un mismo canal, ya que en el MSC pueden ser multiplexados hasta 4 servicios que contengan sólo audio o audio y datos.

En la actualidad, el sistema AM emite un mismo programa en diferentes zonas del territorio utilizando varias frecuencias con el propósito de evitar la interferencia co-canal, lo que representa un desaprovechamiento del espectro radioeléctrico, y que a largo plazo puede ser solucionado por la introducción de SFN.

#### 4.2.7 Criterio VII

En la evaluación de este criterio, se hace necesario analizar el cumplimiento de los diversos requisitos de servicio definidos por la ITU para los sistemas de radiodifusión sonora digital.

##### 4.2.7.1 Requisito de la norma del servicio

El estándar puede ser implementado en cualquier país del mundo, debido a:



- Al ser un estándar no propietario, permite que cualquier fabricante ofrezca al mercado sus equipos de radiodifusión con diversidad de precios y calidad, lo que es beneficioso para los consumidores.
- Para el funcionamiento a nivel mundial, los receptores manejan anchos de banda especificados por el estándar DRM. En la actualidad, los que están disponibles al público son diseñados por los siguientes fabricantes: Himalaya (*Power Electronics*), *Mayah Communications*, *Coding Technologies*, entre otros.

#### **4.2.7.2 Capacidad para una transición gradual**

En la sección 2.1.2.3 fueron descritos los diferentes anchos de banda que pueden ser utilizados en emisiones *simulcast*, y en la sección 3.5.4 se analizó la disposición de los módulos necesarios para transmisión simultánea de las señales analógicas y digitales; por lo tanto, un operador que desee emitir su programación en *simulcast*, puede optar por implementar alguna de las alternativas de transmisión que la tecnología DRM ofrece.

En Colombia, con el ancho de banda de 10 KHz en MW, las emisoras tienen la posibilidad de difundir su información en forma *simulcast*, en donde el audio analógico se envía en una banda lateral de 5 KHz y la otra banda lateral es ocupada por la señal digital; así, con la implementación de la tecnología DRM, se puede asegurar la transición gradual, conservando la actual disposición de los canales radioeléctricos para radiodifusión sonora en AM.

#### **4.2.7.3 Difusión de datos**

Los datos transportados en los canales de servicio SDC y FAC dan al sistema DRM la capacidad de control y señalización como se describe en el capítulo 1 secciones 1.4.5.2 y 1.4.5.3, además, con el multiplexor DRM, el MSC no solo lleva audio, sino que también puede transportar datos para la presentación multimedia en el receptor, importante para la radiodifusión colombiana porque abre las puertas a una radiodifusión con servicios de valor agregado como informes del estado del tiempo, tráfico entre otros, que puede incurrir en el aumento de la sintonía y por ende mayores ingresos para las emisoras.

#### **4.2.7.4 Requisitos de la calidad de audio**

En la evaluación del criterio I y las pruebas del anexo 1 sección 6, se concluye que las velocidades de transmisión de datos superiores a 20 Kbps permiten ofrecer programación con calidad similar a FM, en un ancho de banda de 10 KHz para los modos de robustez A y B con constelación 64-QAM.

#### **4.2.7.5 Eficiencia espectral**

El estándar DRM cumple con este requisito de servicio por las razones expuestas en el análisis de cumplimiento del criterio VI y el criterio I, ya que la calidad de audio obtenida para un ancho de banda de 10 KHz es superior a la ofrecida por los actuales sistemas de radiodifusión sonora AM, lo que implica que no hay necesidad de realizar una re-asignación de los canales radioeléctricos dada en el Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en Amplitud Modulada [30]. Además, la utilización de SFN por el sistema DRM permite una mejor calidad y cobertura que la proporcionada por el sistema AM.



#### **4.2.7.6 Fiabilidad de los servicios**

Los resultados de las pruebas analizadas en el anexo 1 secciones 6, 7 y 8, presentan niveles aceptables en la calidad de la señal recibida para la mayoría de los puntos de medición para recepciones fijas en exteriores, y un porcentaje menor en las mediciones realizadas en puntos interiores de edificios, en los que la señal digital se ve más afectada por el tipo de estructura de las edificaciones y por el ruido eléctrico presente en el entorno.

Los nuevos receptores deben contemplar la opción de conmutación de frecuencia que permita la elección de la señal con mejor nivel, hasta que se realice una migración totalmente digital.

#### **4.2.7.7 Información del servicio para selección de sintonía**

El FAC proporciona los datos que permite la exploración rápida de la información de selección de servicio.

#### **4.2.7.8 Consideraciones sobre el sistema de transmisión**

- Los transmisores modernos de estado sólido están en la capacidad de ser modificados y/o adaptados, tal como se analizó en el criterio IV.
- Una de las ventajas de la transmisión digital, específicamente DRM, es disminuir la potencia requerida para abarcar la misma zona de cobertura alcanzada por los sistemas analógicos o de ampliar la cobertura manteniendo el mismo nivel de potencia, sin dejar de lado el mantener o mejorar la fiabilidad del servicio suministrado. Su cumplimiento se logra por el procesamiento digital al que se somete la señal de audio, junto con el mejoramiento de los amplificadores no lineales, para que operen dentro de la zona lineal conservando la eficiencia no lineal pero con características de linealidad, tal como se analizó en las secciones 3.1.1, 3.1.2 y 3.1.3.
- Como en todo tipo de transmisión, al generar una señal se corre el riesgo que parte de ella se propague fuera de los límites del ancho de banda disponible, causando la aparición de interferencias en los canales adyacentes; con el fin de evitar y disminuir estos problemas, el sistema DRM cumple con los requerimientos de la máscara espectral del transmisor dados por la ITU [16], que fueron descritos en la sección 3.1.5; además de lo anterior, hay que garantizar una relación pico a promedio de 10 dB, que permite la modulación de los picos de la señal digital sin que haya problemas de intermodulación, tal como se describe en la sección 3.2.1 del capítulo 3.

#### **4.2.7.9 Consideraciones sobre el receptor**

En estos momentos, la reciente innovación de la radio digital hace que la oferta en el mercado de diferentes dispositivos receptores fabricados por diversas empresas, represente una de las amenazas más importantes en el proceso de migración, debido a sus costos elevados y al bajo poder adquisitivo de la mayor parte de la población colombiana, por lo que se concluye que este requerimiento de servicio no se cumple.



#### 4.2.7.10 Compromiso variable

El sistema DRM fue desarrollado con el propósito de ser utilizado en cualquier parte del mundo, previendo los distintos anchos de banda, tipos de propagación y distribución de frecuencias, entre otros; la variación de los diversos parámetros de transmisión propuestos por la ETSI y la ITU tales como el tipo de banda, el modo de robustez, el esquema de modulación, tasa de codificación y el tiempo de guarda, entre otros parámetros que se analizan en el capítulo I, permite configurar o seleccionar los que mejor se adecúen a las necesidades de radiodifusión, de acuerdo a las condiciones del país (Colombia) y al organismo de difusión.

### 4.3 SÍNTESIS DE LA EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS

La síntesis de los criterios evaluados en este capítulo se resume en las tablas 4.2 y 4.3, donde se realiza una caracterización de acuerdo con los siguientes aspectos relacionados con la viabilidad técnica:

- Clase A. Relacionada con el cumplimiento de los requisitos relevantes del Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora AM [30], como potencia de transmisión, relación señal a ruido, ancho de banda, intensidad mínima de campo utilizable.
- Clase B. Los criterios relacionados con los beneficios que la implementación del sistema DRM ofrece.
- Clase C. Asignado a los criterios relacionados con la evaluación de la capacidad del sistema para permitir una transición suave del sistema analógico al digital.

**Tabla 36 Clasificación de los Criterios de Evaluación**

<b>Criterio</b>	<b>Clase</b>	<b>Concepto de Cumplimiento</b>	<b>Como lograrlo</b>
Calidad de Audio	B	Igual o Muy Superior al de AM  Cumple	AAC, HVXC, CELP complementado con SBR
			16QAM ó 64 QAM
			FEC
Confiabilidad del Circuito de Transmisión	B	Adaptabilidad a cualquier escenario de propagación  Cumple	Modos de Robustez A, B, C, D
Niveles de Potencia y Zona de Cobertura	A	Reducción de potencias que garantice conservar las zonas de cobertura existentes proporcionadas por el sistema analógico, y no causar interferencias considerables a otros servicios  Cumple	Relaciones de protección analógico-digital, digital-analógico, digital-digital
Compatibilidad con el Actual Sistema Analógico de	C	Requisitos para los sistemas de	Transmisores separados o un



Radiodifusión Sonora		radiodifusión digital	único trasmisor
		Cumple	
Consideraciones Sobre Planificación de Canales	A	Heredar la distribución de frecuencias vigente para radiodifusión analógica. Hay que tener en cuenta que el sistema no puede operar en SW en <i>simulcast</i> .	Diferentes tipos de ocupación del espectro
		Cumple	
Eficiencia Espectral	B	Transmisión multiservicio	Envío hasta cuatro servicios sobre MSC
		Cumple	

**Tabla 37 Síntesis de Evaluación del Criterio VII: Requerimientos de Servicio**

Requerimientos de Servicios		¿DRM satisface el requisito?
1. Requisito de la Norma del Servicio	B	Si
2. Capacidad para una Transición Gradual	C	Si
3. Difusión de Datos	B	Si
4. Requisitos de la Calidad de Audio	B	Si
5. Eficiencia Espectral	A	Si
6. Fiabilidad de los Servicios	B	Si
7. Información del Servicio para Selección de Sintonía	B	Si
8. Consideraciones sobre el sistema de transmisión	C	Si
9. Consideraciones sobre el receptor	A	No
10. Compromiso variable	B	Si

#### **4.4 DETERMINACION DE LA VIABILIDAD TÉCNICA**

Tomando en cuenta la evaluación de cada uno de los criterios de decisión planteados al inicio de este capítulo, y considerando que:

- El sistema DRM cumple con los valores de calidad de audio recomendadas por la ITU. En los resultados de las pruebas realizadas, el sistema DRM ha demostrado





adaptabilidad y robustez de la señal digital ante las adversidades del canal de propagación.

- El sistema DRM le permitirá a las radiodifusoras del país, cubrir sus actuales zonas de cobertura con calidad de audio superior a la proporcionada por el actual sistema de radiodifusión analógico, con servicios de valor agregado en el mismo ancho de banda.
- La tecnología digital puede ser introducida en el país sin causar interferencias perjudiciales a los demás servicios de radiodifusión sonora existentes en MW y SW, debido a las relaciones de protección y reducción de potencias descritas en el criterio III.
- Las alternativas de ocupación del espectro de la señal DRM, permiten la operación en el país en el modo totalmente digital y *simulcast* sin necesidad de realizar una nueva distribución de frecuencias en las bandas de MW, a diferencia de IBOC AM, que es la otra propuesta para MW, ya que este sistema requiere de un ancho de banda de 15 KHz para operar en *simulcast* y de 10 KHz para totalmente digital.
- En las pruebas del sistema DRM realizadas en diferentes países del mundo, analizadas en la sección 6, 7 y 8 del anexo 1, el sistema ha mostrado buen desempeño eligiendo la configuración de los parámetros de transmisión adecuados para el escenario de trabajo.
- La reutilización de los equipos de transmisión analógicos se ha probado con buenos resultados.

El estándar DRM cumple satisfactoriamente con los criterios de evaluación planteados, por lo cual su implementación en Colombia es viable con características aceptables de calidad y robustez, ofreciendo servicios que pueden ser implementados con la tecnología de radiodifusión sonora digital en las bandas de MW y SW, proporcionando un nuevo auge a estas bandas en el entorno colombiano.



## CAPITULO V –CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- El estándar DRM es uno de los sistemas de radiodifusión sonora digital que opera con frecuencias inferiores a 30 MHz, desarrollado con el fin de darle un nuevo auge a las bandas que operan en estas frecuencias y mejorar la calidad de la señal, así como suministrar nuevos servicios a la población.
- Al ser DRM no propietario, permite su uso en cualquier lugar a nivel mundial sin tener que pagar por su utilización, con la salvedad de que deben cumplir con los requerimientos impuestos por el estándar para su funcionamiento.
- DRM cuenta con características como la configuración de diferentes parámetros del transmisor como modos de robustez, anchos de banda, tasas de codificación, diversas constelaciones QAM, entre otros, ofreciendo de esta manera flexibilidad para ser adoptado en entornos con diversas condiciones de propagación como los presentados por el territorio colombiano.
- Las pruebas realizadas en otros países permiten establecer los parámetros de emisión aconsejables para configurar el transmisor, dependiendo de la banda utilizada, el servicio requerido, el ancho de banda y de los diferentes entornos, para permitir obtener una buena calidad en la señal de los servicios proporcionados, cumpliendo con las recomendaciones del mismo estándar y de la ITU.
- DRM al tener la capacidad de funcionar en modo *simulcast* para un determinado ancho de banda, permite transmitir el mismo programa en formato digital y analógico, haciendo posible la introducción del sistema digital, beneficiando de esta manera a los radio operadores y radioescuchas.
- Para las emisoras del país, la reducción de potencia en los sistemas digitales incide de forma significativa en ahorros considerables de costos de energía eléctrica, justificando la inversión que la digitalización de la señal implica, ya que a mediano y largo plazo ésta es reembolsable.
- Un entorno tan crítico como es el que representa la ciudad de México por su infraestructura, diferentes tipos de calles, el ruido eléctrico producido por el hombre con los niveles más altos en Latinoamérica, entre otras características, y por los resultados obtenidos, permiten concluir que es viable la implementación en Colombia del sistema radiodifusión sonora bajo el estándar DRM.
- Cuando en un entorno la señal presenta bastante degradación, es preciso que la transmisión de la señal cuente con un nivel adecuado de robustez para contrarrestar los fenómenos de propagación causantes del deterioro de la señal, y DRM especifica varios modos de robustez (A, B, C y D) que permiten adaptabilidad a la señal en diferentes condiciones de propagación.



Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez

- El sistema DRM es robusto frente al efecto multitrayectoria en diversas condiciones de propagación, al hacer uso de diferentes intervalos de guarda mediante la adopción del esquema de transmisión OFDM.
- Cuando los niveles de interferencia presentes en un entorno son altos, es importante utilizar la constelación de 16-QAM para asegurar una aceptable calidad de la señal, tal como se hizo en las pruebas de México y Brasil.
- En el sistema DRM entre más robusto sea el modo de transmisión elegido menor será la cantidad de información útil transmitida.
- DRM ofrece la posibilidad de que los sistemas actuales de radiodifusión sonora del país, migren de forma gradual hacia una radiodifusión digital, conservando la gran mayoría de la infraestructura existente, realizando las modificaciones/adaptaciones necesarias que den lugar a un buen funcionamiento.
- Los amplificadores no lineales de los sistemas de transmisión AM pueden ser reutilizados, siempre y cuando se incluya la técnica de linealización A/RFP que permite aprovechar su eficiencia de amplificación sin introducir distorsión intolerable a la señal.
- A largo plazo, la introducción de SFN en el país, manejadas por DRM permitirá llegar a aquellas zonas de sombras que la actual cobertura no satisface, logrando cubrir más áreas y haciendo un mejor uso del espectro.
- El sistema DRM mediante su operación en modo *simulcast*, facilita la introducción al país de la radiodifusión digital al seguir haciendo uso de los receptores convencionales, con la salvedad de que un futuro se necesitará de un receptor digital para hacer uso de la totalidad de servicios suministrados por la tecnología DRM.
- Se deben realizar modificaciones tanto en la parte del estudio, STL, y del transmisor, que permitan a las actuales estaciones de radiodifusión sonora operar con el estándar DRM, reduciendo significativamente los gastos de adquisición de un sistema totalmente digital.
- Para permitir el reemplazo de un sistema analógico por uno digital, el radiooperador debe tener en cuenta la disminución que debe hacerle al valor de potencia de transmisión utilizado para radiar su señal en determinada zona cobertura, ya que con una potencia menor la señal DRM se mantiene dentro de la misma área sin interferir otras transmisiones de radiodifusión sonora tanto analógicas como digitales: 7 dB en el caso de MW, 4 dB en el caso de SW y 16 dB en transmisión *simulcast* que garantizan el cumplimiento de las relaciones de protección recomendadas por la ITU [21].
- El análisis realizado al estándar DRM y a las pruebas de implementación realizadas en otros países, puede considerarse como el primer paso para la conformación de la base teórica necesaria para diseñar un plan de pruebas piloto en Colombia, cuyos resultados permitirían realizar un análisis técnico más profundo del desempeño del sistema.



- Con el desarrollo de este trabajo de grado se resolvieron preguntas tales como: *¿Qué ventajas y características presenta el estándar DRM en la radiodifusión digital?, ¿Cuáles son los requerimientos técnicos necesarios para la implementación del sistema de Radiodifusión Digital DRM en Colombia?, ¿Es viable la implementación técnica de este estándar en Colombia? ¿DRM es la opción para mejorar la calidad de AM y SW, y ofrecer nuevos servicios a los usuarios?*

## **5.2 RECOMENDACIONES**

### **5.2.1 Técnicas y Operativas**

De acuerdo al análisis del estándar DRM que se ha realizado a lo largo del desarrollo de este trabajo de grado, y con el propósito de consolidar su implementación en el territorio colombiano, se presentan a continuación algunas recomendaciones importantes:

- Por el análisis tanto de las pruebas realizadas en otros países como el funcionamiento del sistema DRM, entre otros, se recomienda la implementación de este estándar en el territorio colombiano, debido a la cantidad de ventajas que suministra como son:
  - Reutilización de la infraestructura existente adaptando ciertos equipos de producción y transmisión, lo cual disminuye el impacto económico durante el periodo de transición tanto a operadores de radio como a radioescuchas.
  - Su operación en modo *simulcast* para seguir utilizando los receptores existentes y facilitar la migración gradual.
  - Ser un estándar no propietario, el cual puede ser empleado por cualquier institución de telecomunicaciones.
  - Optimización del espectro radioeléctrico.
  - Proporciona nuevos servicios al radioescucha, haciéndolo multimedia.
- De acuerdo al tipo de propagación, a los fenómenos de canal, a la banda utilizada, al ancho de banda, entre otros, se recomienda variar los siguientes parámetros de transmisión:
  - Según el tipo de banda. Para MW se sugiere el uso del modo de robustez A, y para SW el modo B.
  - El ancho de banda. DRM trabaja con diferentes anchos de banda, por lo cual es adaptable al utilizado en Colombia. Así mismo, para transmisión *simulcast*, se sugiere ampliar el ancho de banda de 18/20 KHz, para que 9 ó 10 KHz correspondientes a la señal digital, permitan operar con velocidades de transmisión de datos alrededor de los 22 Kbps, suficientes para obtener una calidad de audio comparable con la calidad de FM mono.
  - Los servicios proporcionados. Para lograr la totalidad de los servicios propuestos se recomienda a largo plazo ampliar el ancho de banda.



- Intervalo de guarda. Con el fin de contrarrestar los desvanecimientos por multitrayectoria y el la dispersión Doppler, se configura el intervalo de guarda dependiendo del modo de transmisión que se implemente en Colombia.
- Se recomienda en el momento de realizar las pruebas, tomar mediciones sobre la relación S/N, Intensidad de campo, y la calidad de audio objetiva, para verificar que los valores obtenidos sean acordes a los recomendados por la ITU [16][26] y así garantizar buena recepción de la señal.
- En el proceso de migración de los sistemas analógicos a digitales, se propone la introducción de un modem o la utilización de la red Ethernet en el STL para el transporte de datos adicionales, dependiendo de la configuración de la emisora; en la planta de transmisión se plantea la colocación de un excitador digital, el cual realizará el procesamiento digital. Para una operación *simulcast* se recomienda el empleo de un diplexor.
- Para la introducción de los nuevos servicios, a largo plazo se necesitará el diseño de nuevas antenas que permitan operar en los anchos de bandas de 18/20 KHz.
- Los valores de relación de protección entre las señales digitales y analógicas, indican que las señales digitales son más resistentes y causan menos interferencia a los sistemas de radiodifusión existentes, por lo que al momento de completarse la transición de la radio actual a la digital, se recomienda evaluar la posibilidad de aumentar los niveles de potencia de transmisión de la señal DRM con el fin de mejorar el desempeño del sistema, utilizando esquemas de modulación 64 QAM que permiten obtener una mayor capacidad de transmisión de información, frente a 16 QAM que es utilizada para darle a la señal mayor robustez.
- Se recomienda, sin importar cuál de los diversos sistemas de radiodifusión sonora digital presentes se escoja, la utilización en un futuro de redes de frecuencia única que proporcionará un mejor uso del espectro de frecuencias.

### **5.2.2 Trabajos Futuros**

- Realización de pruebas de campo que permitan establecer las grandes ventajas que proporciona el estándar DRM, además de obtener los umbrales mínimos requeridos para su operación.
- El análisis del estándar DRM plus que permitirá competir con los diferentes estándares que operan en la banda FM.
- El desarrollo de pruebas de campo que permitan verificar la robustez que presentan los modos de transmisión C y D, los cuales son considerados para entornos demasiados críticos, ya que en la actualidad no existen resultados de pruebas en escenarios reales.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] García Eduard, “Digital Radio Mondiale”, 2004. Disponible: [http://www.cypsela.es/especiales/pdf187/digital\\_radio.pdf](http://www.cypsela.es/especiales/pdf187/digital_radio.pdf). [Última consulta Abril 1, 2009].
- [2] Huerta José, “El Sistema DRM (Digital Radio Mondiale)”, 2005. Disponible: [http://www.rtve.es/drm/doc/sistema\\_drm.pdf](http://www.rtve.es/drm/doc/sistema_drm.pdf). [Última consulta Abril 1, 2009].
- [3] EuropeanTelecommunicationsStandardsInstitute, “Digital Radio Mondiale (DRM): SystemSpecification”, ETSIES-201-980 V2.2.1, 2005. Disponible: <http://www.drm.org>. [Última consulta: Mayo. 23, 2009].
- [4] HallettLawrie, “Digital Radio Mondiale”, 2002. Disponible: [http://www.olon.nl/publiekdocs/LO\\_DIG\\_2002BIJLAGE4.pdf](http://www.olon.nl/publiekdocs/LO_DIG_2002BIJLAGE4.pdf). [Última consulta Mayo23, 2009].
- [5] E. Esteban, “Diseño de un Sistema OFDM-CDMA para la Transmisión de Voz Digital Interactiva en la Banda de HF”, 2003. Disponible: <http://www.icao.int/anb/panels/acp/Meetings/amcp8/amcp8wp/AMCP848.sp.pdf>. [Última consulta Junio29, 2009].
- [6] Aguilar Jairo Jhon, “Caracterización del canal en banda ancha”. Disponible: <http://jpadilla.docentes.upbbga.edu.co/moviles/9%20Caracterizac%20canal%20banda%20ancha.pdf>. [Última consulta Junio 29, 2009].
- [7] Jackson Peter, “DRM, progress on the receiver front”, 2003. Disponible: [http://www.ebu.ch/en/technical/trev/trev\\_293-jackson.pdf](http://www.ebu.ch/en/technical/trev/trev_293-jackson.pdf). [Última consulta Julio 15, 2009].
- [8] Matías María Jose, “DRM (Digital Radio Mondiale) Local Coverage Tests Using the 26 MHz Broadcasting Band”, 2007. Disponible: [http://ieeexplore.ieee.org/search/freesrchabstract.jsp?tp=&arnumber=4114810&queryText%3DDRM+%28Digital+Radio+Mondiale%29+Local+Coverage+Tests+Using+the+26+MHz+Broadcasting+Band%26openedRefinements%3D\\*%26searchField%3DSearch+All](http://ieeexplore.ieee.org/search/freesrchabstract.jsp?tp=&arnumber=4114810&queryText%3DDRM+%28Digital+Radio+Mondiale%29+Local+Coverage+Tests+Using+the+26+MHz+Broadcasting+Band%26openedRefinements%3D*%26searchField%3DSearch+All). [Última consulta Enero 10, 2010].
- [9] Neves G. Rafael, “Local Digital Radio in the 26 MHz Band Using DRM – Results of the Brasilia Field Trials”, 2007. Disponible: [http://ieeexplore.ieee.org/search/freesrchabstract.jsp?tp=&arnumber=4404396&queryText%3DLocal+Digital+Radio+in+the+26+MHz+Band+Using+DRM+%E2%80%93+Results+of+the+Brasilia+Field+Trials%26openedRefinements%3D\\*%26searchField%3DSearch+All](http://ieeexplore.ieee.org/search/freesrchabstract.jsp?tp=&arnumber=4404396&queryText%3DLocal+Digital+Radio+in+the+26+MHz+Band+Using+DRM+%E2%80%93+Results+of+the+Brasilia+Field+Trials%26openedRefinements%3D*%26searchField%3DSearch+All). [Última consulta Enero 10, 2010].
- [10] Gil Unai y Guerra David, “DRM field trials – for urban coverage planning in Spain”, 2008. Disponible: [http://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev\\_2008-Q2\\_drm-spain.pdf](http://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev_2008-Q2_drm-spain.pdf). [Última consulta Enero 20, 2010].



*Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez*

- [11] iBiquity Digital Corporation, "iBOC AM Transmission Specification", 2001. Disponible: [http://www.nautel.com/Resources/Docs/Whitepapers/7\\_FCC\\_AM\\_Specs.pdf](http://www.nautel.com/Resources/Docs/Whitepapers/7_FCC_AM_Specs.pdf). [Última consulta Abril 12, 2010].
- [12] European Telecommunications Standards Institute, "Digital Radio Mondiale (DRM): System Specification", ETSI TS-102-358 V1.1.1, 2005. Disponible: [http://www.drm.org/uploads/media/spec\\_19.pdf](http://www.drm.org/uploads/media/spec_19.pdf). [Última consulta: Abril. 5, 2010].
- [13] European Telecommunications Standards Institute, "Digital Radio Mondiale (DRM): Single Channel Simulcast (SCS)", ETSI TS-102-509 V1.1.1, 2005. Disponible: [http://www.drm.org/uploads/media/spec\\_22.pdf](http://www.drm.org/uploads/media/spec_22.pdf). [Última consulta: Abril. 12, 2010].
- [14] EBU-UER, "Technical Bases for DRM Services Coverage Planning", 2008. Disponible: <http://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3330.pdf>. [Última consulta Febrero 15, 2010].
- [15] DRM Project Office, "Broadcasters' User Manual", 2004. Disponible: [http://www.drm.org/fileadmin/media/downloads/Broadcast\\_Manual.pdf](http://www.drm.org/fileadmin/media/downloads/Broadcast_Manual.pdf). [Última consulta Enero 30, 2010].
- [16] ITU-R BS.1615, "Parámetros de Planificación para la Radiodifusión Sonora Digital en Frecuencias Inferiores a 30 MHz". Cuestión ITU-R 223/10. Asamblea de Radiocomunicaciones de la ITU, 2003.
- [17] ITU-R BS.1348-1, "Requisitos de Servicio de la Radiodifusión Sonora Digital para Frecuencias Inferiores a 30 MHz". Cuestión ITU-R 217/10. Asamblea de Radiocomunicaciones de la ITU, 1998-2001.
- [18] Spragg Donald, "DRM Transmitter Requirements and Applying DRM Modulation to Existing Transmitters". Disponible: [http://www.contelec.com/pdf%5CDRM\\_Requirements.pdf](http://www.contelec.com/pdf%5CDRM_Requirements.pdf). [Última consulta Marzo 28, 2010].
- [19] S. Zozaya Alfonso, "Aportación a la Linealización de Amplificadores de Potencia Mediante la Teoría de la Hiperestabilidad". Disponible: [http://www.tdr.cesca.es/TESIS\\_UPC/AVAILABLE/TDX-0731102-172308/TESIS.pdf](http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0731102-172308/TESIS.pdf). [Última consulta Abril 1, 2010].
- [20] Jacobson Herb, "HCJB Advantages of Digital Broadcasting", 2007. Disponible: [http://www.google.com.co/search?hl=es&q=NASB2007-Herb-Jacobson-HCJB-Advantages-of-Digital-Broadcasting&meta=&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs\\_rfai](http://www.google.com.co/search?hl=es&q=NASB2007-Herb-Jacobson-HCJB-Advantages-of-Digital-Broadcasting&meta=&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai). [Última consulta Abril 9, 2010].
- [21] ITU-R BS.1514, "Parámetros de Planificación para la Radiodifusión Sonora Digital en Frecuencias Inferiores a 30 MHz". Cuestión ITU-R 223/10. Asamblea de Radiocomunicaciones de la ITU, 2003.
- [22] ITU-R SM.328, "Espectros y Anchuras de Banda de las Emisiones". Cuestión ITU-R 222/1. Asamblea de Radiocomunicaciones de la ITU.



*Iván Dario Guerrero - Jhon Edwin Ordoñez*

- [23] ITU-R P.533-9, “Método de Predicción de la Calidad de Funcionamiento de Circuitos que Funcionan en Ondas Decamétricas”. Asamblea de Radiocomunicaciones de la ITU.
- [24] ITU-R P.560-4, “Relaciones de Protección en Radiofrecuencia para la Radiodifusión en Ondas Kilométricas, Hectométricas y Decamétricas”. Asamblea de Radiocomunicaciones de la ITU.
- [25] ITU-R BS.703, “Características de los Receptores de Referencia de Radiodifusión Sonora con Modulación de Amplitud para Fines de Planificación”. Asamblea de Radiocomunicaciones de la ITU.
- [26] ITU -R BS.1387-1, “Método para Mediciones Objetivas de la Calidad de Audio Percibida”. Asamblea de Radiocomunicaciones de la ITU, 1998-2001.
- [27] ITU -R BS.1284-1, “Métodos Generales para la Evaluación Subjetiva de la Calidad del Sonido”. Cuestión ITU-R 55/6. Asamblea de Radiocomunicaciones de la ITU, 1997-2003.
- [28] Zambrano Camilo y Rueda Carlos Iván, “Análisis de un Sistema de Comunicaciones Afectado por los Desvanecimientos Plano y Lento Tipo Rayleigh”. Disponible:  
[http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:b2qBVleEdsgJ:redalyc.uaemex.mx/pdf/477/47712102.pdf+modelo+de+canal+awgn+rice+rayleigh&hl=es&gl=co&pid=bl&srcid=ADGEESjlyh78XvtX2Rs3b-RZ11R\\_s0dK33uTU6f1ukYyWka4wZ0w7i7-aldBlga3vOSyq-XCoafY8Tg-5MyQDjMe27oN2uKXbfhe0g3Nnyoy9kxqdw7KalzSzTzuwEgnLxh2i0gE0iLr&sig=AHIEtbTUCEZX0z5GitX5rUZ21TPkG4Lz9g](http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:b2qBVleEdsgJ:redalyc.uaemex.mx/pdf/477/47712102.pdf+modelo+de+canal+awgn+rice+rayleigh&hl=es&gl=co&pid=bl&srcid=ADGEESjlyh78XvtX2Rs3b-RZ11R_s0dK33uTU6f1ukYyWka4wZ0w7i7-aldBlga3vOSyq-XCoafY8Tg-5MyQDjMe27oN2uKXbfhe0g3Nnyoy9kxqdw7KalzSzTzuwEgnLxh2i0gE0iLr&sig=AHIEtbTUCEZX0z5GitX5rUZ21TPkG4Lz9g) [Última Consulta Noviembre 25, 2010].
- [29] Ares Roberto Angel, “Control de Errores de Datos”, 2003. Disponible:<http://www.rares.com.ar/>[Última Consulta Noviembre 25, 2010].
- [30] Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en Amplitud Modulada. Disponible:  
<http://www.mintic.gov.co/.../Radiodifusion%20Sonora/.../PlanTecnicoAM.pdf>. [Última consulta Abril 5, 2010].

## **ANEXOS**

**ANEXO1 – CARACTERISTICAS, PRUEBAS Y REQUERIMIENTOS TECNICOS DEL ESTANDAR DRM.**

**ANEXO2 – LA RADIODIFUSIÓN SONORA EN MW Y SW.**