

# **ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**DISEÑO DE UNA RADIODIFUSORA DIGITAL EN BASE AL  
ESTÁNDAR DRM (DIGITAL RADIO MONDIALE) PARA LA BANDA DE  
AM**

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

**LENIN PATRICIO VARGAS REINOSO**  
lenin.vargas.r@hotmail.com

**DIRECTOR: ING. EDWIN GUILLERMO NIETO RÍOS**  
edwin.nieto@epn.edu.ec

**Quito, junio 2013**

## DECLARACION

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

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

---

Lenin Patricio Vargas Reinoso

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Lenin Patricio Vargas Reinoso bajo mi supervisión.

-----  
Ing. Edwin Nieto  
DIRECTOR DE PROYECTO

## CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>VIII</b>
<b>PRESENTACIÓN.....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>ACRONIMOS .....</b>	<b>XV</b>
 <b>Capítulo 1</b>	
<b>EL ESTÁNDAR DRM30.....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	3
1.3 VENTAJAS DEL ESTÁNDAR .....	4
1.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GENERALES .....	8
1.4.2 MODOS DE TRANSMISIÓN .....	10
1.4.2.1 ANCHO DE BANDA DEL CANAL .....	10
1.4.2.2 EFICIENCIA DE LA TRANSMISIÓN .....	10
1.4.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN .....	13
1.5 CODIFICACIÓN DE FUENTE.....	16
1.5.1 CODIFICACIÓN DE AUDIO AAC .....	17

1.5.2 CODIFICACIÓN DE VOZ MPEG CELP .....	18
1.5.3 CODIFICACIÓN DE VOZ MPEG HVXC .....	19
1.5.4 CODIFICACIÓN SBR .....	20
1.5.5 CODIFICACIÓN PS .....	21
1.5.6 CODIFICACIÓN MPS .....	22
1.6 SUPERTRAMA DE AUDIO .....	23
1.6.1 SUPERTRAMA DE AUDIO AAC .....	24
1.6.1.1 SUPERTRAMA DE AUDIO AAC + SBR .....	27
1.6.1.2 SUPERTRAMA DE AUDIO AAC + MPS .....	28
1.6.2 SUPERTRAMA DE AUDIO CELP .....	29
1.6.2.1 SUPERTRAMA DE AUDIO CELP + SBR .....	30
1.6.3 SUPERTRAMA DE AUDIO HVXC .....	30
1.7 MULTIPLEX DRM .....	31
1.7.1 CANAL DE SERVICIO PRINCIPAL (MSC) .....	32
1.7.2 CANAL DE ACCESO RÁPIDO (FAC) .....	33
1.7.3 CANAL DE DESCRIPCIÓN DE SERVICIO (SDC) .....	36
1.7.3.1 FRECUENCIAS ALTERNATIVAS .....	38
1.8 CODIFICACIÓN DE CANAL Y MODULACIÓN .....	39

1.8.1 TRANSPORTE MULTIPLEX Y DISPERSIÓN DE ENERGÍA .....	41
1.8.2 CODIFICACIÓN.....	41
1.8.2.1 PARTICIONAMIENTO, CODIFICACIÓN Y ENTRELAZADO .....	42
1.8.2.2 MAPEO DE CONSTELACIONES QAM Y SÍMBOLOS OFDM.....	43
<b>Capítulo 2</b>	
<b>DISEÑO DEL SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN CON EL ESTÁNDAR DRM30.....</b>	<b>46</b>
2.1 AMPLITUD MODULADA.....	46
2.2 DISEÑO .....	47
2.2.1 PARAMETROS TÉCNICOS DE PLANIFICACIÓN .....	47
2.2.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA CADENA DE TRANSMISIÓN.....	53
2.2.2.1 ESTUDIO.....	56
2.2.2.2. TRANSMISOR.....	57
2.2.3 EQUIPOS .....	58
2.2.4 ENLACE Y COBERTURA.....	67
<b>Capítulo 3</b>	
<b>COMPARACIÓN DIGITAL – ANALÓGICA .....</b>	<b>87</b>
3.1 REDISTRIBUCIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO .....	90
<b>Capítulo 4</b>	

<b>COSTOS REFERENCIALES .....</b>	<b>97</b>
4.1 COSTOS EQUIPOS DRM .....	97
4.2 COSTOS EQUIPOS ENLACE MICROONDA .....	98
4.3 COSTOS EQUIPOS ADICIONALES.....	99
4.4 OTRAS CONFIGURACIONES DEL SISTEMA DRM.....	100
 <b>Capítulo 5</b>	
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>104</b>
5.1 CONCLUSIONES .....	104
5.2 RECOMENDACIONES .....	107
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>109</b>

## **RESUMEN**

### Capítulo 1

#### EL ESTÁNDAR DRM30

Este capítulo inicia haciendo una introducción de lo que significa la tecnología digital, después se exponen los antecedentes que marcaron el desarrollo de la radiodifusión digital para después estudiar el estándar DRM30, que especifica todas las características de la radiodifusión pero concentrado en la banda del espectro radioeléctrico que está por debajo de los 30 MHz. El estándar se analiza tomando como base el diagrama de bloques de la arquitectura del estándar para sobre este ir definiendo todos los parámetros que considera, estos son: la codificación de fuente, la codificación de canal, el tramado, y la adaptación al medio de transmisión inalámbrico.

### Capítulo 2

#### DISEÑO DEL SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN CON EL ESTÁNDAR DRM30

En este capítulo se describe de forma general la radiodifusión analógica en AM para que en base a estos criterios, y en base los parámetros que el estándar define dentro de una transmisión simulcast, desarrollar el diseño de un sistema de radiodifusión sonora digital, constituido por un Estudio ubicado en la Escuela Politécnica Nacional en el edificio de Química - Eléctrica de la Facultad de Eléctrica y Electrónica, y el transmisor ubicado en el cerro Pichincha; el diseño constituye la generación de un diagrama de bloques que relacione la arquitectura del sistema con los equipos disponibles en el mercado, un detalle de los parámetros que se consideran para una transmisión simulcast y una recomendación de equipos necesarios para que el sistema trabaje, además del cálculo de un enlace microonda entre el Estudio y el Transmisor.

### Capítulo 3



## COMPARACIÓN DIGITAL - ANALÓGICA

En el presente capítulo se hace una comparación entre la tecnología digital y la analógica en base a la información contenida en los capítulos anteriores, posterior a esto se plantea un esquema básico de redistribución de la banda en donde opera la radiodifusión en Amplitud Modulada en el Ecuador, para que a través de esta se entienda mejor las posibilidades que DRM puede ofrecer a los radiodifusores y a la sociedad en general.

### Capítulo 4

## COSTOS REFERENCIALES

En este capítulo se plantean los costos referenciales de los equipos escogidos en el diseño con el objeto de establecer una guía economía, dirigida a aquellos radiodifusores que realmente están considerando una transición análoga – digital con el estándar DRM de radiodifusión sonora.

### Capítulo 5

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Finalmente se hace una sistematización del documento a través del planteo de conclusiones y recomendaciones de todo lo que este proyecto ha generado, orientado claro, a servir de guía a aquellos que quieren involucrarse en la radiodifusión digital y más específicamente al estándar DRM.

## **PRESENTACIÓN**

La digitalización de los procesos constituye la manera óptima de tratamiento de información debido a las ventajas notables que se obtiene sobre el tratamiento de la señal de forma analógica, en este sentido los distintos caminos tecnológicos han ido migrando a la era digital, tenemos por ejemplo la televisión analógica y tras esta camina también la radiodifusión sonora; dentro de estas posibilidades hay ingenieros y demás trabajando en el desarrollo de estándares, dentro de los cuales tenemos el estándar DRM (Digital Radio Mondiale), posicionándose como el único estándar libre y que abarca el mayor rango de frecuencias.

El presente proyecto se concentra en las posibilidades digitales del estándar sobre la tradicional radio en Amplitud Modulada, posibilidad que marca una reactivación del interés del radiodifusor en trabajar sobre esta banda ya que mejora las características de calidad de la radio tradicional.

La adopción de un estándar requiere de cambios estructurales de los sistemas tradiciones, en el caso del estándar DRM no necesariamente plantea cambios de esta magnitud pero si cambios importantes de costos moderados, esto debido a que el estándar por definición nace con la idea de mejorar la radio que opera en la banda de Onda Media es decir la radio en AM, dentro de los cambios inevitablemente son en cuanto a equipos con la posibilidad de hacer uso de la infraestructura existente, si se quiere mejoras importantes de calidad se requiere cambios en la distribución del espectro radioeléctrico, y esto implica cambio en el reglamento para definición de nuevas políticas.

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

Figura 1.1: Cobertura vs potencia de transmisión de emisiones AM y DRM30.....	5
Figura 1.2: Bandas de trabajo del estándar DRM. ....	8
Figura 1.3: Diagrama de bloques de la cadena de transmisión.....	13
Figura 1.4: Codificador de fuente de audio DRM .....	17
Figura 1.5: Reconstrucción de frecuencias altas con SBR.....	21
Figura 1.6: Manejo de información estéreo en PS .....	22
Figura 1.7: División de la supertrama de audio en dos niveles de protección.....	24
Figura 1.8: Supertrama de audio AAC con 10 tramas a 24KHz .....	25
Figura 1.9: Diagrama de bloques general del código CRC .....	26
Figura 1.10: Trama AAC + SBR .....	27
Figura 1.11: Trama AAC + MPS.....	28
Figura 1.12: Trama AAC + MPS + SBR .....	29
Figura 1.13: Supertrama de audio CELP + SBR .....	30
Figura 1.14: Supertrama de audio HVXC + SBR .....	31
Figura 1.15: Multiplex DRM.....	31
Figura 1.16: Canal FAC.....	34
Figura 1.17: Canal SDC .....	37
Figura 1.18: Codificación, entrelazado y transmisión. ....	39
Figura 1.19: Diagrama de bloques de un sistema OFDM básico. ....	40
Figura 1.20: Diagrama de bloques funcional de la codificación y el entrelazado. ....	41

Figura 1.21: Codificador convolucional. ....	43
--	----

## **CAPÍTULO 2**

Figura 2.1: Estación matriz.....	47
----------------------------------	----

Figura 2.2: Esquema del sistema de radio digital.....	54
---	----

Figura 2.3: Esquema de transmisión DRM local .....	54
--	----

Figura 2.4: Esquema de diseño del sistema DRM .....	55
---	----

Figura 2.5: Perfil topográfico Estudio –Transmisor.....	68
---	----

Figura 2.6: Primera zona de Fresnel.....	70
--	----

Figura 2.7: Equipos Serie MDTL/MDT/MDR para enlace microonda.....	75
---	----

Figura 2.8: Antena parabólica AP2SR15.....	76
--	----

Figura 2.9: Cálculo de radioenlace usando Radio Mobile. ....	80
--	----

Figura 2.10: Angulo de elevación.....	81
---------------------------------------	----

Figura 2.11: Configuraciones para la simulación de cobertura.....	84
---	----

Figura 2.12: Configuración de representación gráfica de cobertura.....	85
--	----

Figura 2.13: Área de cobertura simulada en Radio Mobile. ....	86
---	----

## **CAPÍTULO 3**

Figura 3.1: Atribución de las bandas de frecuencia establecida por regiones.....	90
--	----

Figura 3.2: Canalización actual para AM.....	91
--	----

Figura 3.3: Canalización simulcast con 5KHz AM y 5KHz DRM .....	92
---	----

Figura 3.4: Canalización simulcast con 10KHz AM y 5KHz DRM .....	92
--	----

Figura 3.5: Canalización digital con 10KHz DRM.....	93
---	----

Figura 3.6: Canalización digital con 5KHz DRM.....	93
--	----

Figura 3.7: Canalización digital con 20KHz DRM.....	94
Figura 3.8: Comparación entre canalización analógica y digital.....	95

## **CAPÍTULO 4**

Figura 4.1: Configuración con Modulador DRM de respaldo.....	101
Figura 4.2: Configuración con transmisores DRM de respaldo .....	101
Figura 4.3: Configuración DRM avanzada .....	102

## **ÍNDICE DE TABLAS**

### **CAPÍTULO 1**

Tabla 1.1: Modos de robustez definida por el estándar DRM .....	11
Tabla 1.2: Parámetros del símbolo OFDM para el estándar DRM .....	12
Tabla 1.3: Parámetros UEP a 8KHz y 16KHz para CELP .....	29
Tabla 1.4: Parámetros del canal y parámetros de servicio.....	34
Tabla 1.5: Longitud del campo de datos del SDC .....	37
Tabla 1.6: Niveles de protección. ....	44
Tabla 1.7: Modos de robustez vs duración del símbolo OFDM.....	45

### **CAPÍTULO 2**

Tabla 2.1: Ancho de banda de los distintos modos de robustez DRM .....	50
Tabla 2.2: Valor de SNR (dB) que garantiza un BER de $1 \times 10^{-4}$ .....	50
Tabla 2.3: Mínima intensidad de campo [(dB( $\mu$ v/m))] para modo A de robustez.....	51
Tabla 2.4: Relaciones de protección .....	52
Tabla 2.5: Reducción de potencia necesaria .....	52

Tabla 2.6: Parámetros considerados para el diseño .....	53
Tabla 2.7: Comparación de Servidores de Contenido DRM.....	60
Tabla 2.8: Características para Servidor de Contenido.....	61
Tabla 2.9: Imágenes de Servidores de Contenido .....	61
Tabla 2.10: Comparación de Moduladores DRM. ....	62
Tabla 2.11: Características para Moduladores.....	64
Tabla 2.12: Imágenes de Moduladores .....	64
Tabla 2.13: Comparación de Transmisores DRM .....	65
Tabla 2.14: Características para Transmisores.....	66
Tabla 2.15: Imágenes de Transmisores .....	67
Tabla 2.16: Cálculo de la primera zona de Fresnel.....	71
Tabla 2.17: Variación del factor k.....	72
Tabla 2.18: Cálculo del margen de despeje .....	73
Tabla 2.19: Características Receptor Serie MDTL/MDT/MDR .....	75
Tabla 2.20: Potencia de equipos series MDT (Transmisor) .....	76
Tabla 2.21: Parámetros de la antena parabólica AP2SR15 .....	76
Tabla 2.22: Factores R, A y B .....	79
Tabla 2.23: Ganancia de un monopolo vertical .....	83
Tabla 2.24: Parámetros técnicos unidad DRM DRT1.....	83
Tabla 2.25: Datos para predicción de cobertura.....	84

## **CAPÍTULO 4**

Tabla 4.1: Costos equipos DRM.....	97
Tabla 4.2: Costos de equipos radioenlace microonda.....	98

Tabla 4.3: Costo transición analógica – digital .....	98
Tabla 4.4: Equipos adicionales para un sistema de radiodifusión.....	99
Tabla 4.5: Resumen de costos solución DRM.....	100

## ACRONIMOS

DRM	<i>Digital Radio Mondiale/</i> Radio Digital Mundial.
FM	<i>Frequency Modulation/</i> Frecuencia Modulada.
AM	<i>Amplitude Modulation/</i> Amplitud Modulada.
HF	<i>High Frequency/</i> Alta Frecuencia.
OC	Onda Corta
MF	<i>Medium Frequency/</i> Frecuencia Media.
OM	Onda Media
LF	<i>Low Frequency/</i> Baja Frecuencia.
OL	Onda Larga
ITU/UIT	<i>International Telecommunication Union/</i> Unión Internacional de Telecomunicaciones.
VHF	<i>Very High Frequency/</i> Muy Alta Frecuencia.
DAB	<i>Digital Audio Broadcasting/</i> Radiodifusión de Radio Digital.
IBOC	<i>In-Band On-Chanel /</i> Canal Dentro de Banda.

ISDB-T	<i>IntegratedService Digital Broadcasting-Terrestrial</i> / Servicios Integrados de Radiodifusión Integral-Terrestre.
DMB	<i>Digital Multimedia Broadcasting</i> / Radiodifusión Multimedia Digital
RDS	<i>Radio Data System</i> / Sistema de Radiodifusión de Datos
UE	<i>EuropeanUnion</i> / Unión Europea.
ETSI	<i>EuropeanTelecommunicationsStandardsInstitute</i> / Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones.
IEC	<i>International ElectrotechnicalCommission</i> / Comisión Electrotécnica Internacional.
PAD	<i>ProgramAssociated Data</i> / Programas Asociados a Datos.
FAC	<i>Fast Access Channel</i> / Canal de Acceso Rápido
SDC	<i>ServiceDescriptionChannel</i> / Canal de Descripción de Servicio
MSC	<i>MainServiceChannel</i> / Canal de Servicio Principal
MPEG	<i>MovingPicturesExpertsGroup</i> / Grupo de Expertos en Movimiento de Fotos.
AAC	<i>Advanced Audio Coding</i> / Codificación de Audio Avanzada.
SFN	<i>Single Frequency Network</i> / Redes de Frecuencia Única.
MFN	<i>MultipleFrequency Network</i> / Redes Multi-Frecuencia.
CELP	<i>CodeExcited Linear Prediction</i> / Predicción Lineal con Excitación por Código



HVXC	<i>Harmonic Vector ExcitationCoding/</i> Codificación por Excitación de Vector Armónico
SBR	<i>Spectral Band Replication/</i> Replicación de Banda Espectral.
PS	<i>ParametricStereo/</i> Estéreo Paramétrico.
MPS	<i>MPEG Sorround/</i> MPEG Envolverte.
UEP	<i>Unequal Error Protection/</i> Protección de Error Desigual.
BER	<i>Bit Error Rate /</i> Tasa de Error de Bit.
CRC	<i>CyclicRedundancyCheck/</i> Comprobación por Redundancia Cíclica.
SAC	<i>Spatial Audio Coding/</i> Codificación de Audio Espacial.
AFS	<i>AlternativeFrequencySwitching/</i> Conmutación de Frecuencia Alternativa.
QAM	<i>QuadratureAmplitudeModulation/</i> Modulación de Amplitud en Cuadratura.
SNR	<i>SignaltoNoise Ratio /</i> Relación Señal a Ruido.
COFDM	<i>CodedOrthogonalFrequencyDivisionMultiplexing/</i> Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal Codificada.
FEC	<i>Forward Error Correction/</i> Corrección de Errores hacia Adelante.
FFT	<i>Fast Fourier Transform/</i> Transformada Rápida de Fourier
IFFT	<i>InverseFast Fourier Transform/</i> Transformada Rápida de Fourier Inversa
EEP	<i>Equal Error Protection/</i> Protección Igual de Error.

SM	<i>Standard Mapping</i> / Mapeo Estándar.
HMsym	<i>Symmetrical Mapping Hierarchical</i> / Mapeo Jerárquico Simétrico.
HMmix	<i>Mixed Mapping Hierarchical</i> / Mapeo Jerárquico Mixto.
SDI	<i>Service Interface Distribution</i> / Interfaz de Distribución de Servicio.
MDI	<i>Multiplex Distribution Interface</i> / Interfaz de Distribución de Multiplexor.
MCI	<i>Modulator Control Interface</i> / Interfaz de Control de Modulador.
RSCI	<i>Receiver Status &amp; Control Interface</i> / Interfaz de Control y Estado de Receptor.
DCP	<i>Distribution &amp; Communication Protocol</i> / Protocolo de Comunicación y Distribución.
SCE	<i>Service Component Encoder</i> / Codificador de Componente de Servicio.
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i> / Protocolo Simple de Administración de Red.
AES/EBU	<i>Audio Engineering Society</i> (Sociedad de Ingeniería en Audio) / <i>European Broadcasting Union</i> (Unión Europea de Radiodifusión).

## Capítulo 1

### EL ESTÁNDAR DRM30

#### 1.1 INTRODUCCIÓN[1] y[2]

El desarrollo tecnológico relacionado con la tendencia digitalización de los procesos de transmisión se justifica al poder tener un aumento de la eficiencia en el transporte de la información, mejorar la calidad de servicio que los usuarios puedan percibir, poder incorporar nuevos servicios, etc., respondiendo a las necesidades de usuarios cada vez más exigentes, exigencias que pueden satisfacerse gracias a la complementariedad y diversidad de la opción digital; es de entender que la radiodifusión sonora digital no plantea transmitir información sonora a través de la red, sino el uso de las ondas de radio, pero codificadas de manera digital.

En el nuevo entorno digital permite a la radio y televisión usar anchos de banda diferentes del espectro radioeléctrico a los asignados para la radiodifusión analógica, implica un cambio en la infraestructura tanto en emisión como en recepción, involucra un marco regulatorio que controle los parámetros básicos y orientados a asegurar la comunicación como un derecho humano; las alternativas digitales son muy diversas teniendo por ejemplo: la televisión digital terrestre y satelital, televisión por cable, la telefonía móvil, la radio digital por satélite e Internet; se suma a esto el desarrollo digital sobre los soportes tradicionales explorando así sobre la digitalización de las señales de FM (Frecuencia Modulada), e incluso sobre señales AM (Amplitud Modulada) y OC (Onda Corta), siendo el DRM (Radio Digital Mundial) una de las tecnologías que exploran este espacio.

Dentro del escenario mundial respecto a la transición análogo-digital de la radiodifusión sonora se reconoce tres diferentes situaciones: países que ya han completado de manera exitosa la transición, países que se encuentran en el proceso

de transición tras haber escogido un estándar y finalmente países que se encuentran haciendo estudios para decidir que estándar adoptar, siendo esta última situación en la que el Ecuador se encuentra trabajando a través de la Superintendencia de Telecomunicaciones, acuerdo firmado en octubre del 2011. [3]

Las posibilidades digitales para radiodifusión sonora experimentalmente comprobadas, documentadas y respaldadas por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) son: DAB (Radiodifusión de Audio Digital) desarrollada por el proyecto Eureka-147 para la Unión Europea, IBOC (Canal dentro de Banda) desarrollada por Ibiquity Digital Corporation de los Estados Unidos y DRM desarrollado por el consorcio Digital Radio Mondiale, existe además un estándar de origen japonés llamado ISDB-T (Servicios Integrados de Radiodifusión Integral-Terrestre) que es una tecnología usada tanto para radiodifusión sonora como para televisión, habiéndose concentrado este estándar en aplicaciones de televisión digital, se sabe además que Corea tiene planes de desarrollar una variante del estándar DAB conocida como DMB (Radiodifusión Multimedia Digital), se puede hablar también del estándar RDS (Sistema de Radiodifusión de Datos) que brinda la posibilidad de manejar cierta cantidad de información digital sobre la infraestructura analógica tradicional.

El sistema DRM brinda la opción de recibir señales a través de frecuencias de OC, OM bajo el estándar DRM30 hasta la banda de VHF (Muy Alta Frecuencia) con el estándar DRM+, siendo el sistema que abarca la gama de frecuencias más amplia para radio digital en el mundo; es además el único estándar que no está protegido por derechos de propiedad intelectual, el estándar además soporta la transmisión de mensajes de texto e imágenes, permite la transmisión de un solo canal de audio con excelente calidad o de varios canales en la misma frecuencia, con menor calidad.

Para el caso DRM30, es decir sobre frecuencias bajo los 30MHz, el estándar brinda la posibilidad de mejorar la calidad de audio, esto se refleja en la posibilidad de tener la calidad de FM en la banda de la actual AM, ofrece fiabilidad de servicio, capacidad

de acoplarse fácilmente a los requisitos en cuanto al espectro de frecuencia, coexistencia entre difusión analógica y digital dando flexibilidad a una transición digital por fases, etc.

## **1.2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS[4], [2]y [5]**

Un escenario tecnológico en particular siempre va ligado a un escenario social, económico y político en particular, obedece además a la influencia de variables como la mundialización de la cultura, nuevos comportamientos sociales, relacionados estos con el consumo, la ecología, etc., y en este sentido la radiodifusión sonora digital, junto con la televisión y muchas otras propuestas tecnológicas, no son la excepción; en este sentido la radio digital nace en una época donde factores como la Segunda Guerra Mundial, la polarización mundial en el lado capitalista versus el lado comunista expresada en la Guerra Fría imperaban, estos factores planteaban un escenario perfecto para la inversión en el desarrollo de estos sistemas de radiodifusión, es por ello que países con importante protagonismo en la Guerra Fría actualmente ya disponen de sistemas de radio digital, el ejemplo más notable es Alemania con la radio Deutsche Welle (La Voz de Alemania). Otro escenario importante obedece al generado por países con una amplia tradición en temas de radiodifusión este es el caso de Inglaterra a través de la BBC (British Broadcasting Corporation), que es la primera compañía pública de radiodifusión y la más grande en el mundo.

En el año 1992 tras un llamado de la UIT en desarrollar tecnología digital para la radiodifusión sonora en la banda que opera la radiodifusión en amplitud modulada, un grupo de organizaciones radiofónicas, industriales y otras, se reúnen en Francia en el año de 1994 para trabajar en este desarrollo, después estas organizaciones se reúnen formalmente en Las Vegas, para que un año después en 1998 se establezcan como un consorcio denominado Digital Radio Mondiale, constituido ya por fabricantes, operadores de red, proveedores de equipos de radiodifusión, universidades, institutos de investigación, organismos reguladores, etc., con un total

de 20 organizaciones, esto fue en Guangzhou, China. El resultado de este trabajo generó un documento que fue aprobado en octubre de 2002 por la UIT publicado a través de la recomendación ITU-R BS 1514, adoptado como el único estándar mundial de radiodifusión sonora para frecuencias entre 3 y 30 MHz, fue estandarizado también por la norma IEC-62272-1 en marzo de 2003 y por la ETSI ES-201980 en mayo de 2003, adicionalmente la recomendación ITU-R BS 1615 detalla los parámetros de planificación para sistemas de radiodifusión digital terrenal bajo los 30MHz. Después de la generación del estándar en el año 2003, en Europa ya se empezó a ver las primeras transmisiones, este es el caso de Suiza.

Las pruebas del estándar a través del consorcio se han ido esparciendo en distintos lugares del mundo como México, India, Rusia, buscando adaptar al estándar a condiciones climáticas extremas; La adopción del estándar está impulsando de una manera significativa la Unión Europea, así como también las empresas de medios de comunicación, y se sabe que las emisoras que hasta ahora ya están transmitiendo en DRM son: Vatican Radio, BBC WorldService, Deutschlandradio, HCJB, Radio Canada International, Deutsche Welle, Radio Netherlands, Radio Telefís Eireann (Irlanda), Radio Exterior de España, Rai de Italia, Radio New Zealand International, el consorcio ahora está constituido de 93 socios y 90 partidarios de 39 países activos, entre estos están: Alemania, Túnez, China, Estados Unidos, Noruega, Malasia, Reino Unido, Japón, México, Australia, Finlandia, etc.

### **1.3 VENTAJAS DEL ESTÁNDAR [6] y [7]**

Un adicional frente a los demás estándares de radiodifusión digital es que es un estándar abierto, es decir que ningún país o marca es propietario del sistema, esto implica una disminución en los costos de la implementación del sistema, ya que no se debe pagar a nadie regalías de ningún tipo, convirtiéndose esta en una ventaja económica para los radiodifusores, esto le representa al Ecuador una oportunidad relativamente económica para experimentar en esta tecnología.

Dentro de las características técnicas, los problemas que asechan a los sistemas de radiodifusión son el desvanecimiento y el ruido estático, producto de los obstáculos propios de la superficie geográfica del lugar, para el caso ecuatoriano y en particular en Quito sabemos que estamos rodeados de elevaciones y experimentamos una tasa de crecimiento elevada de la urbe, esto en los sistemas tradicionales tienen mucho impacto, respecto al ruido sobre la banda de onda media tiene como característica la alta vulnerabilidad a este, en este sentido el sistema DRM propone elevar la calidad de la radiodifusión en las bandas de amplitud modulada y obtener así una radio digital DRM con niveles de calidad comparables con la radiodifusión en FM, acompaña a esto la posibilidad de invertir menor potencia para una mayor área de cobertura comprada con las emisiones en AM, en la Figura 1.1, podemos observar la comparación de cobertura y potencia entre una emisión en AM (línea azul entrecortada) y una emisión DRM30 (línea morada) a la misma frecuencia de transmisión, monitoreada en el día y en la noche.

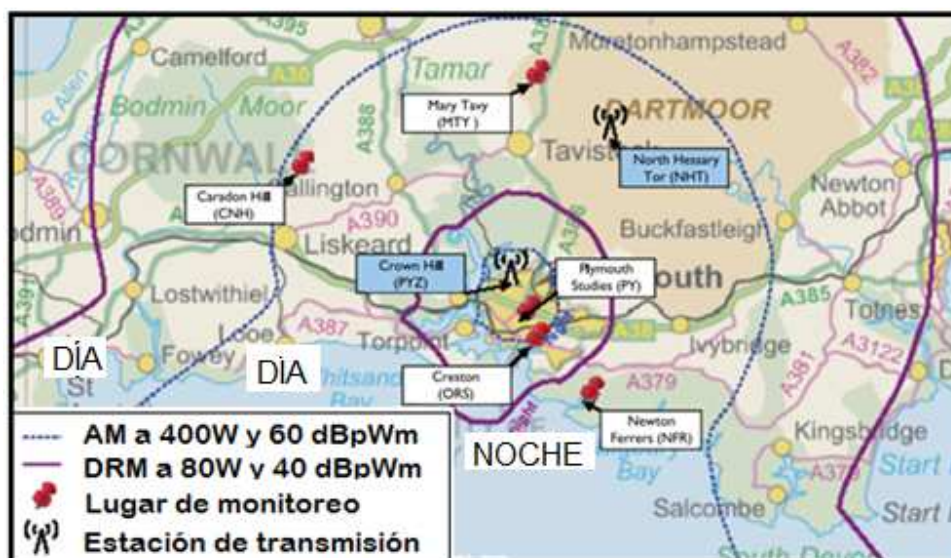


Figura 1.1: Cobertura vs potencia de transmisión de emisiones AM y DRM30 [8].

La aplicación de las técnicas digitales para la codificación de la señal como la modulación multiportadora COFDM, aprovecha de mejor manera la distribución de

espectro tradicional ya que tiene mejores condiciones de propagación, y así conseguir mayores áreas de cobertura; además, que estos criterios se los puede manejar también variando los niveles de potencia pudiendo definir la cobertura a nivel internacional, nacional, regional de acuerdo a las necesidades, pudiendo esto generar flexibilidad en cuanto a sistemas de radiodifusión DRM para las comunidades del Ecuador que en los últimos tiempos están demandando frecuencias como derecho.

Respecto a la ley que rige la distribución del espectro radioeléctrico en el Ecuador se sabe que no se dispone de una norma técnica para AM, considera solamente el Acuerdo Regional sobre el servicio de radiodifusión por ondas hectométricas celebrado en la ciudad de Río de Janeiro en 1981 y de la Ley y Reglamento de Radiodifusión y Televisión vigente, lo que deja abierta la posibilidad ajustarse y jugar con un ancho de banda disponible de hasta 20KHz, lo que permite tener mejores opciones de radiodifusión DRM.

Como parte de los requerimientos y las condiciones en las que el estándar nace, es decir en un escenario donde se demanda la necesidad de mejorar la calidad en la radiodifusión en onda media, este sistema brinda la posibilidad de mantener una sistema híbrido entre la tecnología digital y la analógica, pensado esto para que la transición hacia un ambiente totalmente digital sea progresiva y no tenga mucho impacto social, esto es que permite una transmisión simulcast<sup>1</sup>, en otras palabras se puede transmitir la misma programación en forma analógica y digital de forma simultánea; deriva de esto también la característica de aprovechar al máximo la infraestructura tradicional para sobre esta adecuar mediante nuevos módulos y ciertos cambios medulares el sistema DRM, parámetro que aporta también en factores económicos, ya que en el Ecuador en general los sistemas analógicos AM no son económicamente representativos.

---

<sup>1</sup> Viene de Simultaneous Broadcast y refiere a la transmisión simultánea de la misma información en formada digital y analógica.



Otras ventajas propias de la tecnología digital y que son ventajas también de los sistemas de Televisión Digital Terrestre, es que brinda la posibilidad de enviar datos adicionales, manejo de información (sistemas PAD<sup>1</sup> para servicio de noticias, información respecto al audio transmitido, etc.), control de comportamiento del sistema (rebobinar audio o almacenar, acceso condicional, etc.) mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico, mayores área de cobertura con menor potencia de transmisión, etc.

Permite el manejo de Redes de Frecuencia Única (SFN), donde varios transmisores pueden usar la misma señal y en el mismo canal, esto haría que la misma radio sea sintonizada a la misma frecuencia en toda el área geografía en la que determinada radiodifusora opere, en el caso analógico cada radiodifusora requiere una frecuencia diferente para cada transmisor, estas son Redes de Frecuencia Múltiple (MFN); el estándar también permite la opción de cambio automático de frecuencia, aquí el receptor DRM dispone de un medio automático para conmutar la frecuencia de recepción a otra con la misma programación de una forma transparente para el usuario.

El estándar plantea además la posibilidad de seleccionar entre una variedad de modos de transmisión permitiendo un equilibrio entre capacidad del sistema y robustez de la señal, de acuerdo a las necesidades y a las condiciones ambientales garantizando siempre una buena calidad en el sonido.

En el Ecuador los sistemas de radiodifusión AM están estancados y los radiodifusores ya no contratan concesiones en Onda Media, a lo que un mejoramiento de la calidad del sonido en esta banda a través del estándar DRM puede generar una reactivación del interés de los radiodifusores en estas frecuencias.

---

<sup>1</sup>Programas Asociados a Datos

## 1.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GENERALES

El estándar nace como reemplazo digital para la radiodifusión sonora analógica, primero para las bandas de OM y OC y posteriormente para las bandas donde trabaja la radiodifusión en FM, este desarrollo del estándar determina básicamente dos modos de funcionamiento[6]:

- DRM30.- Diseñado para frecuencias bajo los 30MHz.
- DRM+.- Diseñado para frecuencias sobre los 30MHz.<sup>1</sup>

La Figura 1.2 muestra las bandas de trabajo del estándar versus la banda en la que trabaja la radiodifusión analógica.

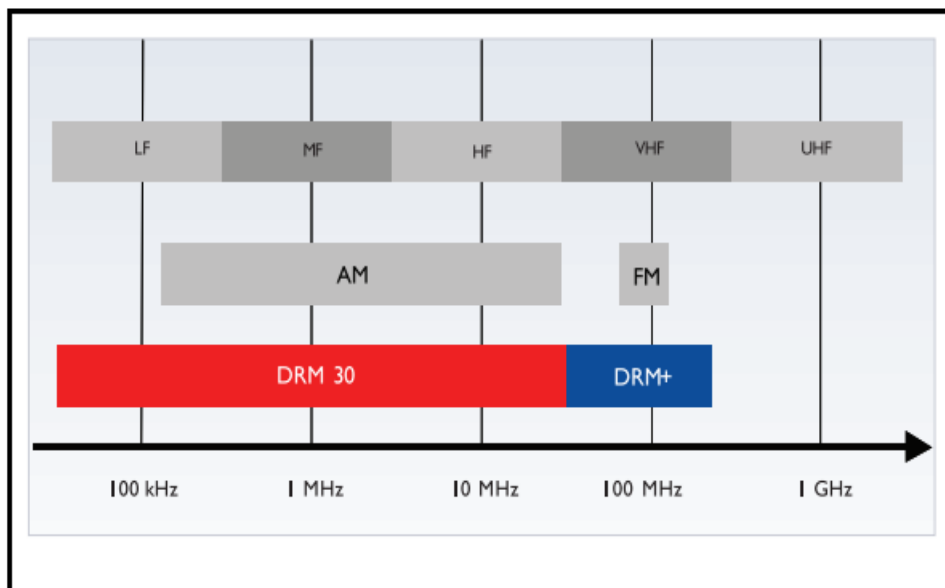


Figura 1.2: Bandas de trabajo del estándar DRM[6].

---

<sup>1</sup> DRM+ no compete en el presente trabajo, solo se lo menciona como característica del estándar en general.

El sistema tiene disponible diferentes modos de transmisión definidos considerando ciertos parámetros de transmisión que se los puede clasificar en los siguientes:

- Parámetros relacionados al ancho de banda del canal, que define la cantidad total de ancho de banda para una transmisión.
- Parámetros relacionados con la eficiencia de la transmisión, que permite negociar entre la capacidad y la robustez frente al ruido[9].

Dentro de las características técnicas generales del sistema y que equivalen a ciertas ventajas (prestaciones) del sistema podemos detallar a grosso modo las siguientes:

- Difusión sobre las bandas AM y FM.
- Coexistencia con difusión analógica.
- Datos asociados al Programa de Asociación de Datos (PAD)
- Redes SFN y MFN.
- Conmutación automática de frecuencias.
- Hasta cuatro servicios por frecuencia, pudiendo ser cualquier mezcla de datos y audio.
- Disponibilidad de tres codificadores de audio que soportan tasas de bits sobre los 2Kbps.

Los beneficios en cuanto a prestaciones del sistema podemos entenderlo mejor con la siguiente relación: la tecnología DRM se basa en el sistema de compresión MPEG-4, que es más eficiente que MPEG-2 Y MPEG-3, a tal punto que un sistema MPEG4-AAC a 64 kbps iguala al MPEG-3 de 128 kbps, y se aproxima mucho al MPEG-2 de 192 kbps en cuanto a calidad, con esto es posible proporcionar sonido estéreo, en cuanto a velocidad de transmisión el máximo valor posible es de 72 kbpsy un nivel mínimo de protección.

Con un mínimo de 4,8 kbps con el nivel de protección más alto, generalmente para frecuencias enOM se emite a una velocidad de transmisión de 23 kbps asegurando con esto una calidad similar al FM estéreo, y 10 kbps para OC asegurando en este

caso un sonido sin interferencias, estas características se detalla posteriormente en la descripción del estándar.

#### **1.4.2 MODOS DE TRANSMISIÓN [9]**

Los parámetros relacionados al modo de transmisión son: el ancho de banda del canal y la eficiencia de la transmisión

##### **1.4.2.1 ANCHO DE BANDA DEL CANAL [9]**

La canalización para radiodifusión terrestre bajo los 30MHz es de 9KHz y 10KHz [9], bajo estas condiciones el estándar DRM trabaja de la siguiente manera:

- Anchos de banda nominales de 9KHz y 10KHz.<sup>1</sup>
- Mitad de anchos de banda nominales (4.5KHz y 5KHz) para difusión híbrida.
- Doble de anchos de banda nominales (18KHz y 20KHz) para mayor capacidad de transmisión.

##### **1.4.2.2 EFICIENCIA DE LA TRANSMISIÓN[9]**

#### **TASA DE CÓDIGO Y CONSTELACIONES**

El sistema proporciona opciones para lograr uno o dos niveles de protección en el tiempo como función de protección asociada a un servicio, y dependiendo del servicio los niveles de protección se determinan en base a la tasa de código del codificador de canal [9].

Permite seleccionar el orden de la constelación de las celdas<sup>2</sup>, tomando uno de los valores de la terna (4-QAM, 16-QAM, 64-QAM). Se indican ordenados por una capacidad creciente de la tasa binaria, pero por contra, de mayor a menor robustez frente al ruido y las interferencias[7].

---

<sup>1</sup> Ecuador maneja canales de 10KHz para la banda de Onda Media.

<sup>2</sup> A una porción de onda sinusoidal se la llama celda.

## PARÁMETROS OFDM

Define la estructura de los símbolos OFDM para ser usado como una función de las condiciones de propagación.

Dentro de los parámetros OFDM, se define una tabla (Tabla 1.1) con los modos de robustez, el cual clasifica estos modos dependiendo las condiciones de transmisión relacionadas con la propagación; a un ancho de banda dado los diferentes tipos de robustez ofrecen diferentes velocidades de datos.

Modos de robustez	Condiciones de propagación típica
A	Canales Gaussianos, con menor desvanecimiento.
B	Canales selectivos de tiempo y frecuencia, con dispersión por retardo más largo.
C	Como modo B, pero con dispersión Doppler más alta.
D	Como modo B, pero con retardo severo y dispersión Doppler.
E	Canales selectivos en tiempo y frecuencia

Tabla 1.1: Modos de robustez definida por el estándar DRM [9]

Respecto a los modos podemos decir básicamente que el modo A está diseñado para entregar la velocidad binaria más alta posible aplicada sobre onda de superficie, el modo B tiene los mismos criterios que el modo anterior pero este aplicado sobre onda ionosférica, respecto al modos C y D aplican en escenarios donde se presentan trayectos largos, saltos múltiples, incidencia casi vertical, presencia importante de reflexiones y para el modo E se aplica para frecuencias superiores a 30MHz. Los modos más robustos tienen como consecuencia reducir la velocidad binaria y por lo tanto la calidad.

La señal transmitida comprende una sucesión de símbolos OFDM, cada símbolo tiene un intervalo de guarda seguido de la parte útil, cada símbolo es la suma de  $k$  porciones iguales de ondas sinusoidales (celdas) espaciadas en frecuencia, y son transmitidos con una amplitud y fase dada correspondiente a una posición de la

portadora, cada portadora está referenciada por un índice  $k$ , estando  $k$  dentro del intervalo entre  $k_{\min}$  y  $k_{\max}$  ( $k=0$  corresponde a la frecuencia de referencia de la señal transmitida).

Los parámetros relacionados con el tiempo de los símbolos OFDM, son expresados en múltiplos del periodo elemental  $T$ , donde  $T=83^{1/3}$  y estos son:

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

Un cierto número de celdas en cada símbolo OFDM son transmitidas con un valor predeterminado de amplitud y fase, con el objeto de usar como referencia para el proceso de demodulación, estas son denominadas “referencias piloto” y representan una parte del número total de las celdas.

La Tabla 1.2<sup>1</sup> muestra el resumen de estos parámetros:

Parámetro	Modo de robustez				
	A	B	C	D	E
$T$ ( $\mu\text{s}$ )	$83^{1/3}$	$83^{1/3}$	$83^{1/3}$	$83^{1/3}$	$83^{1/3}$
$T_u$ (ms)	24 ( $288 \times T$ )	$21^{1/3}$ ( $256 \times T$ )	$14^{2/3}$ ( $176 \times T$ )	$9^{1/3}$ ( $112 \times T$ )	$2^{1/4}$ ( $27 \times T$ )
$T_g$ (ms)	$2^{2/3}$ ( $32 \times T$ )	$5^{1/3}$ ( $64 \times T$ )	$5^{1/3}$ ( $64 \times T$ )	$7^{1/3}$ ( $88 \times T$ )	$0^{1/4}$ ( $3 \times T$ )
$T_g/T_u$	1/9	1/4	4/11	11/14	1/9
$T_s = T_u + T_g$ (ms)	$26^{2/3}$	$26^{2/3}$	400	$16^{2/3}$	$2^{1/2}$
$T_f$ (ms)	400	400	400	400	100

Tabla 1.2: Parámetros del símbolo OFDM para el estándar DRM [9]

<sup>1</sup> El modo de robustez E corresponde a DRM+

### 1.4.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN[6], [9], [7] y [10]

El manejo de la información en la parte de transmisión esta detallada mediante el diagrama de bloques indicados en la Figura 1.3.

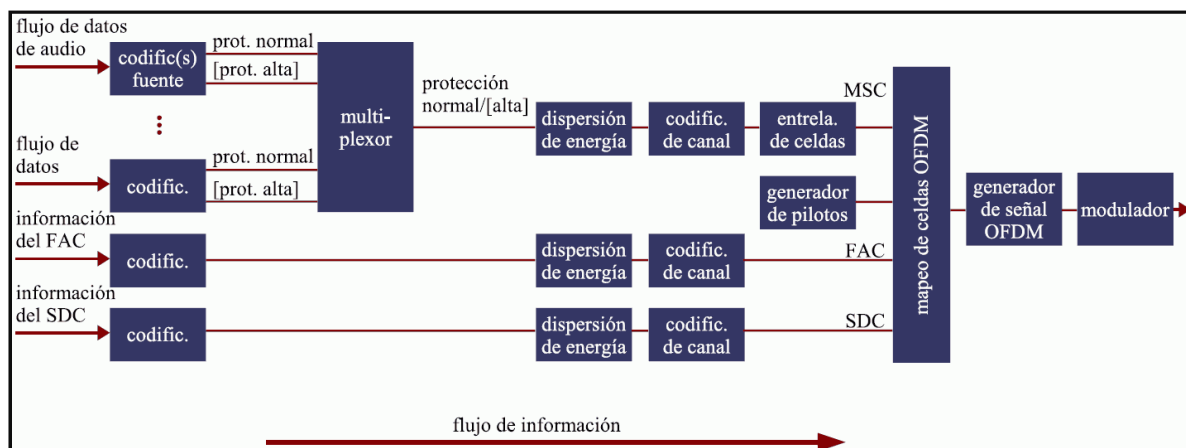


Figura 1.3: Diagrama de bloques de la cadena de transmisión[7]

La información de entrada manejada es el audio normal, datos generados en el estudio e información auxiliar (FAC y SDC)<sup>1</sup>necesaria en recepción.

El bloque codificador de fuente junto con los demás bloques codificadores, aseguran el flujo de información de entrada en un formato digital apropiado, el codificador de audio incluye técnicas de compresión de audio.

El bloque multiplexor se encarga de combinar los niveles de protección de todos los servicios de datos y audio en un formato específico dentro de la trama, esta combinación forma la información principal de servicio (información útil).

El bloque de dispersión de energía ofrece un complemento selectivo y determinístico de bits con el objeto de reducir la posibilidad de que patrones sistemáticos se

<sup>1</sup>FAC = Canal de Acceso Rápido y SDC =Canal de Descripción de Servicio

generen en una regularidad no deseada de la señal transmitida. Es decir entrelaza e inserta bits para reducir secuencias no deseadas.

El bloque codificador de canal añade redundancia para tener información casi libre de errores y define el mapeo de la información de la modulación QAM (Modulación de Amplitud en Cuadratura). En este punto emerge una comparación entre codificador de fuente y codificador de canal, por un lado el codificador de fuente reduce la tasa de bits al usar técnicas de compresión y por otro lado la codificación de canal aumenta la tasa de bits al agregar bits.

El bloque de entrelazado de celdas dispersa las celdas QAM consecutivas en una secuencia cuasi-aleatoria en tiempo y frecuencia, la idea de esto es tener una transmisión robusta en canales dispersivos en tiempo y frecuencia. Si se produce un error que afectan a varias celdas consecutivas, cuando estas son desentrelazadas en recepción las celdas con error quedan separadas y por lo tanto es identificable para la corrección de error, es decir, la idea del entrelazado es desacomodar los bits continuos de la señal para que el posible desvanecimiento en recepción al ordenar los bits estos no estén críticamente afectados.

El bloque generador de pilotos inserta portadoras codificadas con celdas QAM determinadas para facilitar la sincronización en recepción, permite obtener información del estado de canal, permitiendo una demodulación coherente de la señal.

El bloque de mapeo de celdas OFDM (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal) tiene como función recoger las diferentes celdas QAM de información (datos útiles y canales auxiliares) y colocarlas en las portadoras para distribuir las en la grilla de tiempo-frecuencia, se pone una celda por cada portadora y se colocan los pilotos en otras.

Los canales identificados previos al bloque de mapeo de celdas OFDM son:



- El MSC (Canal de Servicio Principal) que constituye la información útil arrojada por el multiplexor, esta información puede contener hasta 4 servicios ya sea de audio o de datos, la velocidad de este canal depende del ancho de banda y del modo de transmisión.
- El FAC (Canal de Acceso Rápido) que es un canal auxiliar de identificación del servicio usado para el manejo de datos de configuración de la transmisión, tiene 64 bits por cada trama de 400ms, contiene información del canal como: ancho de banda, modulación, profundidad del entrelazado, número de servicios, etc.
- El SDC (Canal de Descripción de Servicio) que es un canal auxiliar usado en recepción para conocer cómo hacer la decodificación.

El bloque generador de señal OFDM transforma todas las portadoras pertenecientes a un mismo símbolo de esta representación en frecuencia a una representación temporal (usa la transformada inversa de Fourier), siendo al final un símbolo OFDM un conjunto de tonos a diferentes frecuencias, amplitudes y fases; al final el símbolo OFDM en el dominio del tiempo se obtiene insertando un intervalo de guarda necesario para protección de errores multitrajecto durante la propagación.

Finalmente el bloque modulador convierte la representación digital de la señal OFDM obtenida del bloque generador de señal OFDM en una señal analógica en el aire, esta operación incluye la conversión digital-analógica y el filtrado que debe cumplir de acuerdo a los requerimientos del espectro.

Hasta este punto se ha hecho un resumen de los diagramas de bloques contenidos en el esquema de arquitectura, ahora la descripción se concentra en el proceso de codificación de fuente, donde se determinan distintos modos de robustez y distintas características de transmisión en base técnicas de compresión de audio MPEG.

## 1.5 CODIFICACIÓN DE FUENTE [9] y [11]

La codificación de fuente básicamente tiene que ver con la digitalización de la información de entrada (voz y audio) bajo requerimientos específicos, la cual posteriormente se multiplexa con información auxiliar que permite su correcto procesamiento hasta la recepción.

Considerando las características de radiodifusión en las regulaciones para frecuencias bajo los 30MHz (modo DRM30) dentro de los esquemas de codificación y modulación aplicados, la velocidad de transmisión disponible para la codificación de fuente está en el rango de 8kbps a 20kbps para canales estándar y un máximo de 72 kbps para canales dobles<sup>1</sup>.

Considerando las molestias en cuanto a errores en los medios inalámbricos y la necesidad de obtener una máxima calidad a una velocidad determinada, se optó por usar algoritmos de codificación de voz y audio que son parte del estándar MPEG-4 (Grupo de Expertos en Movimiento de Fotos - 4)<sup>2</sup>, con estos criterios se disponen de distintos modos de codificación de fuente:

- MPEG-4AAC (Codificación de Audio Avanzado).- Protección frente al error para sonido monofónico y estereofónico<sup>3</sup>, considera características mínimas necesarias del oído humano.
- MPEG-4 CELP (Predicción Lineal con Excitación por Código).- Protección frente al error para sonido monofónico y baja velocidad de transmisión.
- MPEG-4 HVXC (Codificación por Excitación de Vector Armónico).- Protección frente al error para sonido monofónico y muy baja velocidad de transmisión, óptimo para aplicaciones de base de datos.

---

<sup>1</sup> Canales dobles hacen referencia a los canales con el doble de ancho de banda nominal.

<sup>2</sup> Es un estándar de compresión digital de audio y video

<sup>3</sup> El modo para radiodifusión estéreo no está disponible dentro de la asignación del espectro actual.

- SBR (Replicación de Banda Espectral).- Permite usar todo el ancho de banda de audio a baja velocidad de transmisión, esta característica puede aplicarse sobre los modos anteriores, la técnica consiste en separar las frecuencias altas y en recepción el decodificador, SBR añade una banda superior sintética sumando a la decodificación AAC.
- PS(Estéreo Paramétrico).- Permite la codificación de estéreo a bajas velocidad de transmisión.
- MPS (MPEG Envolvente).- Permite la codificación multicanal a bajas velocidad de transmisión.

El formato de flujo de bits de transporte de los esquemas de codificación de fuente (MPEG-4) ha sido modificado para satisfacer los requerimientos del sistema DRM.

En la Figura 1.4 podemos ver el diagrama de bloques que concentra el proceso de codificación de fuente con los distintos modos y los bloques de compresión de audio.

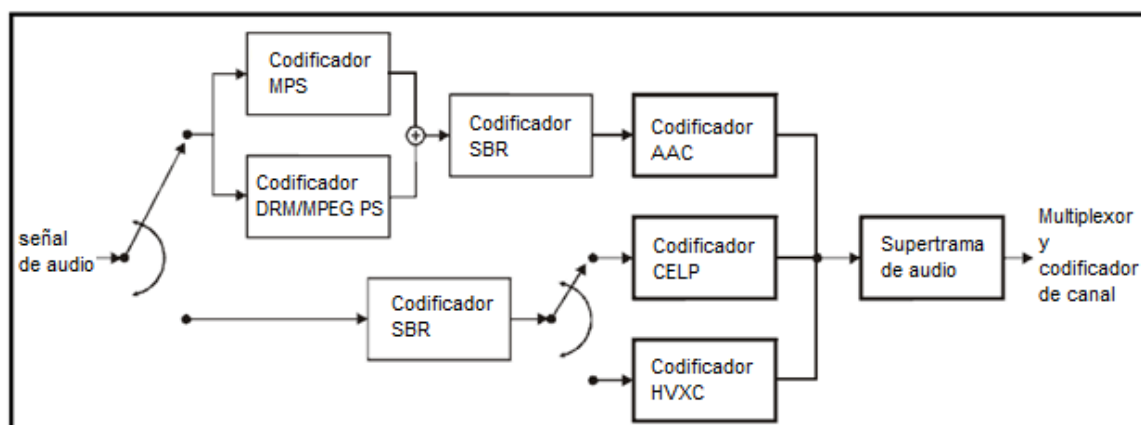


Figura 1.4: Codificador de fuente de audio DRM[9]

### 1.5.1 CODIFICACIÓN DE AUDIO AAC

Básicamente la idea de AAC es eliminar cierta información que el oído humano no puede percibir y con esto genera menores tasas de bits ya que considera menos información para codificar, esta codificación genera audio con la mínima calidad.

Las características AAC para los modos A, B, C y D para el sistema DRM son:

- Velocidad binaria.- De 20bps (80 bps para el modo E).
- Frecuencia de muestreo.- De 12KHz y 24KHz (24KHz y 48KHz para el modo E).
- Longitud transformada.- Una trama de audio corresponde a 80ms o 40ms en el tiempo, requisito para armonizar longitudes de trama CELP y AAC y así permitir la combinación de un número entero de tramas de audio para formar una supertrama de audio de 400ms (tramas de 40ms o 20ms y supertramas de 200ms para el modo E).
- Robustez frente al error.- Usa herramientas adicionales MPEG-4 para mejorar la robustez frente al error de la secuencia de bits AAC en canales propensos a error.
- Supertrama de audio.- Las tramas de audio en las supertramas son codificadas juntas, de tal manera que cada supertrama tiene longitud constante, es decir que el intercambio de bits de audio entre las tramas solo es posible dentro de la supertrama, una supertrama siempre es colocada en una trama lógica (colocada en dos tramas lógicas para modo E), en estas condiciones no se necesita ninguna sincronización adicional para la codificación; la identificación de los límites de la trama y provisiones UEP (Protección de Error Desigual) se las considera cuidadosamente también dentro de la supertrama.
- UEP.- Ofrece mejores características frente a degradación y opera mejor en presencia de un alto BER (Tasa de Error de Bit), el UEP se lo aplica al flujo de bits AAC.

### **1.5.2 CODIFICACIÓN DE VOZ MPEG CELP**

La codificación de voz MPEG CELP está dada para una aceptable calidad de voz y velocidad binaria relativamente bajo la velocidad estándar, los posibles escenarios para este caso son:

- Dual /Triple para aplicaciones de voz, en lugar de un programa de audio de 20kbps o 24kbps, el canal contiene dos o tres señales de audio de 8kbps o 10kbps, permitiendo varias transmisiones de voz simultáneas.
- Servicio de voz sumado a un servicio de audio.
- Transmisiones simulcast, para transmisiones digital-analógicas está disponible velocidades binarias bajas, por ejemplo tasas de 8kbps.
- Para aplicaciones de voz muy robustas, por la naturaleza del codificado de voz se puede esperar que ofrezca la mayor robustez frente a errores del canal, por lo tanto se puede usar una codificación de voz a 8kbps generando una muy alta robustez en la codificación del canal.

Las características básicas de la codificación MPEG CELP son:

- Frecuencia de muestreo de 8KHz o 16KHz
- Velocidad binaria entre 4kbps y 20kbps
- Robustez frente a error.
- Composición de un número entero de tramas CELP para la formación de una súper trama de audio

### **1.5.3 CODIFICACIÓN DE VOZ MPEG HVXC**

MPEG-4 HVXC, está dada para una aceptable calidad de voz y velocidad binaria muy baja (2kbps), esta característica abre la posibilidad de aplicaciones como:

- Servicio de voz sumado a un servicio de audio.
- Aplicaciones multilinguaje.
- Almacenamiento de programas (noticias, bases de datos) en una tarjeta de radio con la posibilidad de almacenar 4.5 horas en una memoria de 4Mbytes.
- Modificación de la escala de tiempo para una rápida reproducción y navegación en el programa almacenado.

- Muy robusta contra errores de transmisión, con o sin esquema de modulación jerárquica.

Las características básicas de la codificación MPEG HVXC son:

- Frecuencia de muestreo de 8KHz
- Velocidad binaria de 2kbps y 4kbps para una velocidad de codificación fija.
- Modificación de la escala tiempo de cantidades arbitrarias.
- Usa CRC (Comprobación de redundancia Cíclica) para mejorar la resistencia a los errores de flujo de los bits HVXC.
- Constituido de un número entero de tramas HVXC para la formación de una súper trama de audio

#### **1.5.4 CODIFICACIÓN SBR**

En la codificación de Replicación de Banda Espectral para mantener una razonable calidad de audio a baja velocidad binaria, los algoritmos de codificación de fuente y audio clásico (monofónico) necesitan un determinado ancho de banda y operara a baja frecuencia de muestreo, en estas condiciones el SBR permite aumentar la calidad a bajas velocidad binaria.

El objetivo de SBR es recrear la banda de frecuencias altas que no se codificaron, para hacer posible esto, la información (altas frecuencias) debe ser transmitido de alguna manera en el flujo de bits principal, después el SBR reconstruye la información de frecuencias altas basándose en un análisis de las frecuencias más bajas, esta reconstrucción necesita información auxiliar contenida en el flujo de bits de audio, es decir, de una señal de audio se puede codificar las frecuencias más altas con AAC y mediante técnicas de SBR en recepción se puede reconstruir la señal completa, como muestra la Figura 1.5.

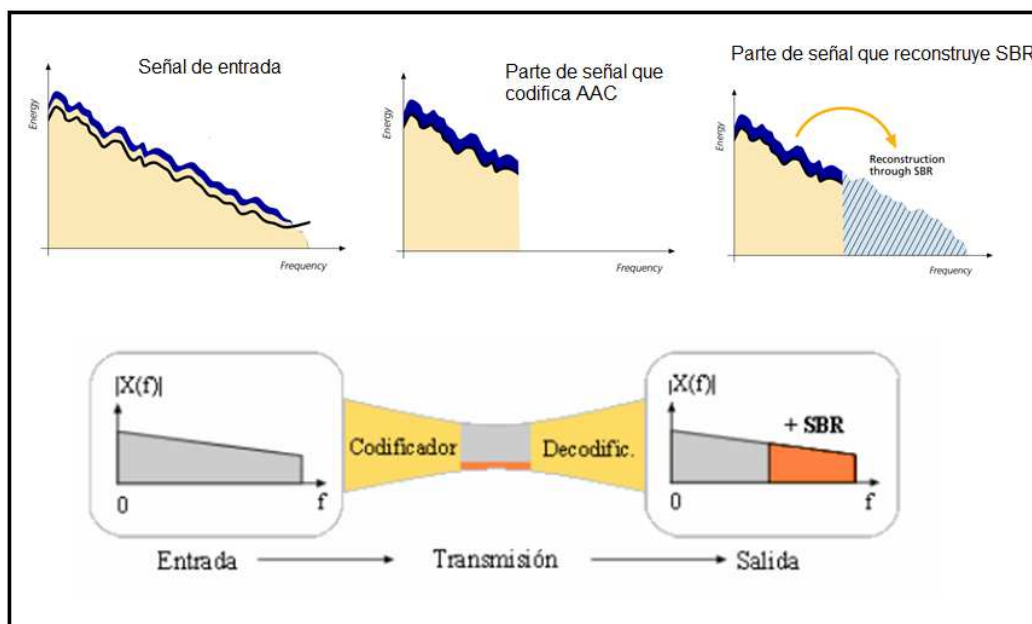


Figura 1.5:Reconstrucción de frecuencias altas con SBR[12]

Existen dos versiones de SBR:

- SBR de alta calidad.- Usa un banco de filtros complejos
- SBR de bajo consumo.- Usa un banco de filtros con valores reales más unos módulos anti-aliasing<sup>1</sup>, es menos complejo que el anterior sin comprometer significativamente la calidad.

### 1.5.5 CODIFICACIÓN PS

La codificación de Estéreo Paramétrico es usado para mejor rendimiento a baja tasas de bits de sonido estéreo, se la usa sobre la configuración AAC + SBR, la idea es enviar la información estéreo junto con la información monofónica, la información estéreo debe ser muy concisa de tal manera que requiera una pequeña fracción de

<sup>1</sup> Evita el aliasing (solapamiento) que es la superposición de espectros producido por error de muestreo.

velocidad binaria permitiendo tener a la señal monofónica la mayor calidad posible. La Figura 1.6 muestra cómo funciona PS.

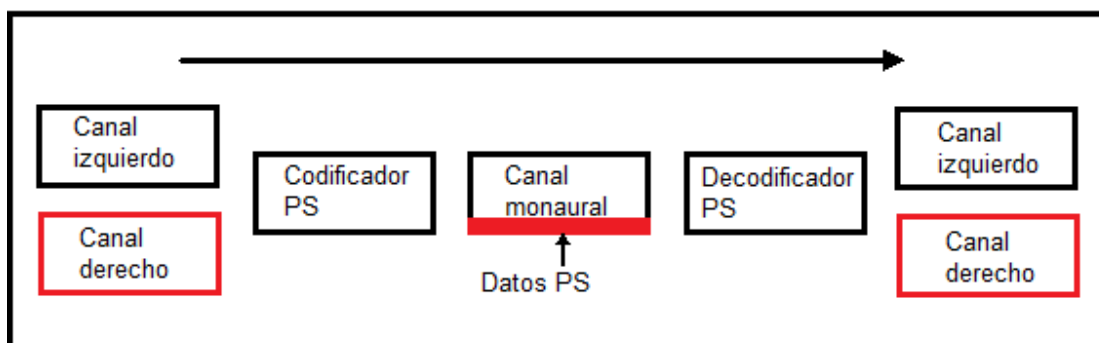


Figura 1.6: Manejo de información estéreo en PS<sup>1</sup>

Este codificación en el decodificador reconstruye las propiedades espaciales, pero no afecta la energía espectral total, por lo que no hay variaciones en el espectro original monofónico, las aplicaciones de esta codificación sobre AAC + SBR están dadas preferiblemente sobre velocidades binarias en un rango donde el sonido estéreo tradicional no tolera.

### 1.5.6 CODIFICACIÓN MPS

La codificación MPEG Envolvente está disponible para sonido estéreo y monofónico compatible para codificación multicanal, el estándar de codificación MPS describe las siguientes características:

- Codificación de señales multicanal basada en una señal downmixed<sup>2</sup> de la señal de multicanal original y asociada con parámetros espaciales, esta ofrece la más baja tasa de datos posible para la codificación de señales multicanal, así como una inherente señal reducida mono o estéreo incluida en el flujo de

<sup>1</sup> Tomado de Computer Desktop Encyclopedia

<sup>2</sup> Cuando un número de canales de audio son mezclados para producir un número menor de canales.



datos, lo que quiere decir que una señal puede ser expandida a múltiples canales por una muy pequeña sobrecarga de datos.

- Decodificación binaural<sup>1</sup> del flujo de MPEG Envoltorio, permitiendo una experiencia de sonido envolvente con auriculares estéreo.
- Un modo matriz mejorado que permite un upmix<sup>2</sup> multicanal de una señal estéreo

Estas características permiten que los receptores sin soporte de decodificación multicanal pueda decodificar la señal sin ninguna modificación.

MPS SAC (MPS Codificación de Audio Espacial) es capaz de recrear N canales basados en M canales transmitidos (donde  $M < N$ ), en los modos de operación principales del sistema SAC, los M canales pueden ser un canal monofónico solo o un par de canales estéreo. Tiene control de datos adicional y representan una velocidad de datos significativamente menor que la requerida para transmitir los N canales, haciendo de esta una codificación muy eficiente mientras que al mismo tiempo se asegura compatibilidad con los dispositivos de canal M y canal N.

El estándar incorpora una serie de herramientas que habilitan características que permiten un sinnúmero de aplicaciones.

Dado que las opciones de codificación determinan la obtención de una supertrama, a continuación vamos a analizar esta de acuerdo a distintas características.

## **1.6 SUPERTRAMA DE AUDIO[9] y [11]**

El sistema DRM tiene una herramienta que se llama UEP (Protección Desigual de Error), la cual permite asignar la más alta protección a la información más sensible, este concepto nace debido a que la información está manejada por jerarquías, por ejemplo, cierta cantidad de bits del total son correspondientes a altas frecuencias,

---

<sup>1</sup> Relativo a dos oídos

<sup>2</sup> Cuando un número de canales de audio son mezclados para producir un número mayor de canales.

otras corresponde a información estéreo, en otros casos se manejan bits individuales los cuales son más sensibles, etc.

La generación de la supertrama es el resultado de la combinación de determinados esquemas de codificación de fuente, que por naturaleza tienen tramas variables, y que combinadas deben generar supertramas de longitud constante, ya que un requisito de UEP es que la longitud de la supertrama sea constante, estos bits constantes se los divide en partes: la más protegida y la menos protegida, la Figura 1.7 muestra la constitución de la supertrama.



Figura 1.7: División de la supertrama de audio en dos niveles de protección.

Las supertramas son posteriormente procesadas en el multiplexor, estas tendrán determinada estructura dependiendo del tipo de codificación de fuente, las opciones son las siguientes:

### 1.6.1 SUPERTRAMA DE AUDIO AAC

La relación entre las tramas y la frecuencia de muestro es la siguiente:

- Cuando la frecuencia de muestro es de 12KHz, se combinan 5 tramas AAC para formar la supertrama de audio.
- Cuando la frecuencia de muestro es de 24KHz, se combinan 10 tramas AAC para formar la supertrama de audio, a esta frecuencia de muestro se trabaja en modo estéreo.

Básicamente la supertrama de audio AAC está constituida por el encabezado, la parte más protegida, la parte menos protegida y el CRC (Comprobación de redundancia Cíclica).

- Encabezado.- Contiene la información para recuperar la longitud de las tramas AAC contenidas en la supertrama.
- Parte más protegida.- Contiene una cabecera seguida por el número de tramas del bloque de protección más alta, este bloque contiene cierta cantidad de bytes del inicio de cada trama AAC.
- CRC.- Bits de cálculo para corrección de errores que van dentro de la parte más protegida, se asigna un byte de CRC para cada trama.
- Parte menos protegida.- Bits no considerados en la parte más protegida son guardados consecutivamente en esta parte.

La distribución de estas partes de la supertrama constituida de 10 tramas se puede mirar en la Figura 1.8.

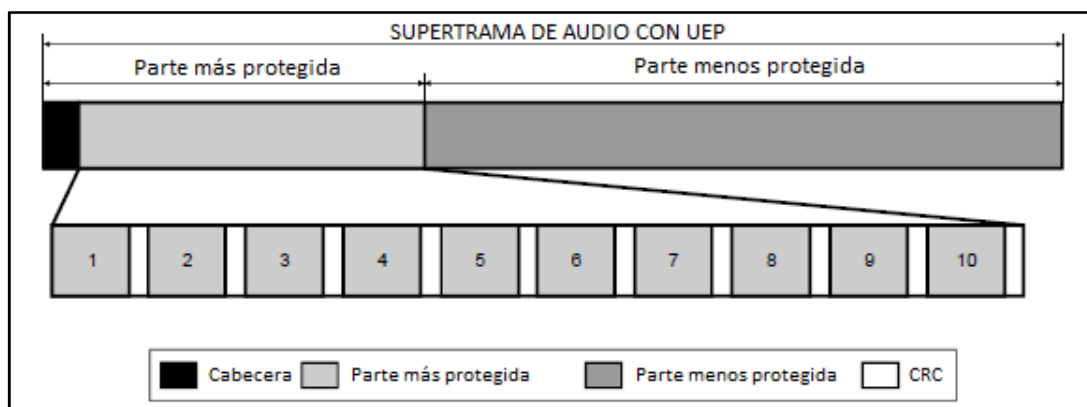


Figura 1.8: Supertrama de audio AAC con 10 tramas a 24KHz

En este punto se hace un paréntesis para describir a grosso modo el cálculo de la palabra CRC.

Como se sabe la implementación de un código CRC permite la detección de errores de transmisión en el lado de recepción, este código va definido con el siguiente polinomio:

$$G_n(x) = x^n + g_{n-1}x^{n-1} + \dots + g_2x^2 + g_1x + 1$$

Donde  $n$  representa en número de bits del código CRC y  $g_i$  puede ser 0 o 1

Como en este caso son 8 bits los asignados para el código, entonces el polinomio es el siguiente:

$$G_8(x) = x^8 + g_7x^7 + g_6x^6 + g_5x^5 + g_4x^4 + g_3x^3 + g_2x^2 + g_1x + 1$$

Ahora resta identificar los valores de  $g_i$  y estos obedecen a una palabra cuyas características son analizadas previamente, incluso hay palabras estandarizadas; para 8 bits en el sistema DRM la palabra usada es la siguiente secuencia 100011111.

$$G_8(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1$$

La Figura 1.9 muestra en bloques el proceso que se debe seguir para la generación del código CRC.

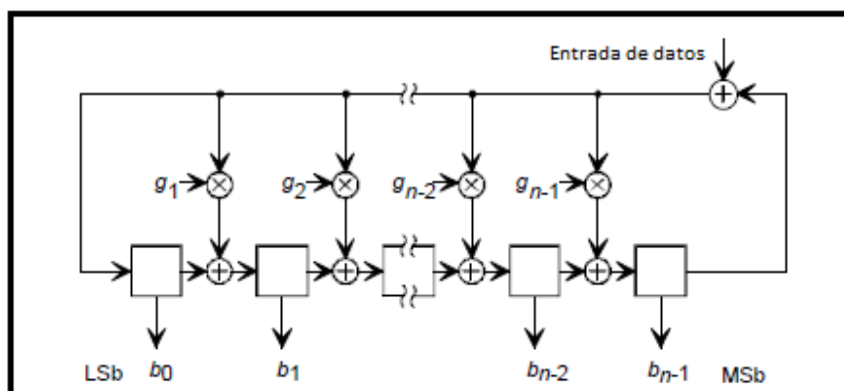


Figura 1.9: Diagrama de bloques general del código CRC

Al principio del cálculo del código CRC todos los registros de estado se inicializan en 1L, después de aplicar el MSb (bit más significativo) a la entrada, el ciclo de reloj hace que el registro cambie su contenido por un estado hacia el estado MSb ( $b_{n-1}$ ), posteriormente se actualizan las salidas de acuerdo a las operaciones XOR, este proceso se va repitiendo para cada bit de datos, al final el registro cambia el contenido de la palabra CRC, finalmente la palabra CRC se complementa a 1 antes de ser enviada junto con los datos.

En otras palabras este proceso consiste en dividir la secuencia a transmitir para el polinomio generador  $G_8(x)$ , previa la división la secuencia debe multiplicarse por  $x^4$ , el residuo de esta división se coloca en el campo CRC junto con la secuencia original y en el receptor se debe dividir la secuencia recibida (datos + CRC) para el mismo polinomio generador y este debe ser igual a cero caso contrario existe un error.

#### 1.6.1.1 SUPERTRAMA DE AUDIO AAC + SBR

La frecuencia de muestreo de SBR es dos veces la frecuencia de muestreo AAC, la parte SBR está ubicada al final de la trama, los datos están organizados de tal manera que, en el lado izquierdo de AAC está el primer bit y para el SBR el bit de la izquierda corresponde al último bit, separados por bits de relleno, esta distribución permite que siempre se encuentren de manera fácil los puntos de partida de las respectivas partes, la Figura 1.10 muestra lo descrito anteriormente.

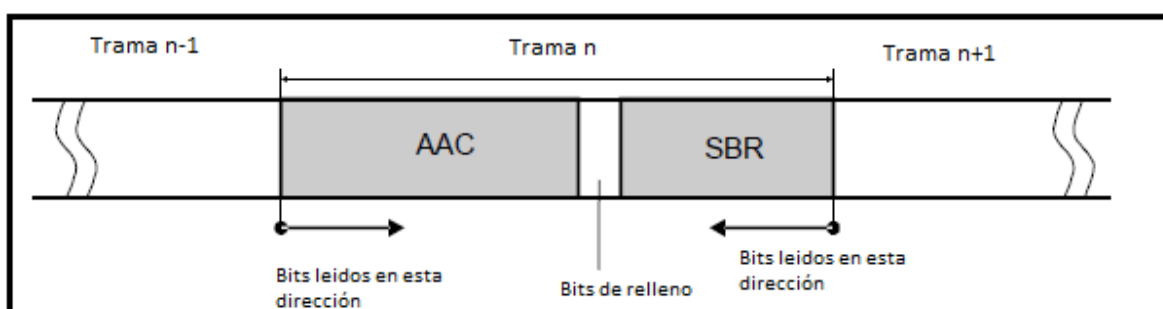


Figura 1.10: Trama AAC + SBR

La cantidad de bits en AAC y SBR no son constantes de trama a trama, y la manera en la que las tramas se insertan en la supertrama es similar a como cuando no se usa SBR, para tasas de bits superiores o iguales a 20Kbps se usará necesariamente SBR y para tasas por debajo de 20Kbps el SBR es opcional.

### 1.6.1.2 SUPERTRAMA DE AUDIO AAC + MPS

Ahora puede incluirse datos de MPS junto con SBR o sin este.

Para el caso en que no incluye SBR, los datos MPS están ubicados directamente después de los datos AAC, si el modo MPS es diferente de la secuencia 000 este estará habilitado en la trama, en este caso los datos MPS están en el mismo sentido que AAC, tienen bits de relleno, pero al final de ambos bloques de datos, esto es muestra en la Figura 1.11.



Figura 1.11: Trama AAC + MPS

Para el caso en el que si se incluye SBR, los datos AAC y MPS estén en un sentido mientras que los datos SBR están en el otro sentido, separados estos por bits de relleno, tal como lo muestra la Figura 1.12.

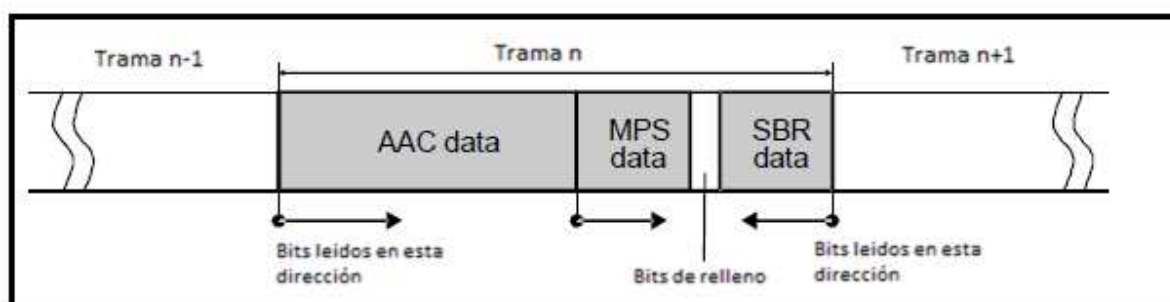


Figura 1.12: Trama AAC + MPS + SBR

### 1.6.2 SUPERTRAMA DE AUDIO CELP

La longitud de las tramas CELP son fijas y estas se agrupan para formar supertramas de audio de 400ms de duración, en este caso se puede también aplicar UEP de tal manera que el inicio de cada trama de audio es colocada dentro de la parte más protegida y la información restante en la parte menos protegida; a continuación se expone en la Tabla 1.3 algunas opciones de distribución de partes UEP en función de la tasa de bits y para frecuencias de muestreo de 8KHz y 16KHz.

Tasa de bits (bits/s)	Longitud trama de audio (ms)	Protección alta (bits/trama)	Protección baja (bits/trama)	Protección alta (bytes/super trama)	Protección baja (bytes/super trama)	Longitud supertrama (bytes)	
6 000	20	24	96	60	240	300	8
6 300	20	24	102	60	255	315	
6 600	20	24	108	60	270	330	
8 300	20	36	130	90	325	415	
8 700	20	36	138	90	345	435	
9 100	20	36	146	90	365	455	
9 500	20	36	154	90	385	475	
11 800	10	24	94	120	470	590	
12 000	10	24	96	120	480	600	
12 200	10	24	98	120	490	610	
12 700	20	64	190	160	475	635	
13 300	20	64	202	160	505	665	
13 900	20	64	214	160	535	695	
17 900	20	92	266	230	665	895	
18 700	20	92	282	230	705	935	
19 500	20	92	298	230	745	975	
20 300	20	92	314	230	785	1 015	
21 100	20	92	330	230	825	1 055	
21 400	10	64	150	320	750	1 070	
22 200	10	64	158	320	790	1 110	
23 000	10	64	166	320	830	1 150	
23 800	10	64	174	320	870	1 190	

Tabla 1.3: Parámetros UEP a 8KHz y 16KHz para CELP

### 1.6.2.1 SUPERTRAMA DE AUDIO CELP + SBR

Para SBR se emplean tramas de 40ms de duración (número de bits constantes) sin importar la longitud de las tramas CELP, estas pueden ser de 10ms, 20ms o 40ms, no existe señalización de la ubicación de la trama dentro de la supertrama, al final de la última trama SBR se insertan bits adicionales para lograr la alineación de byte, opción óptima para calidad de voz a tasas de bits de 12Kbps; la estructura de la trama se muestra en la Figura 1.13.

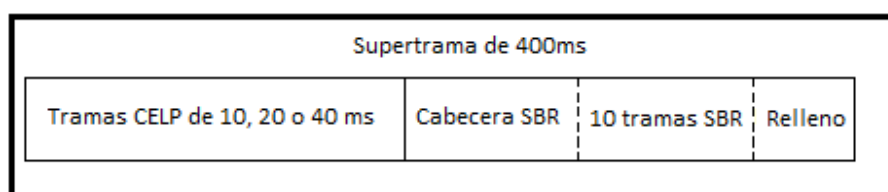


Figura 1.13: Supertrama de audio CELP + SBR

### 1.6.3 SUPERTRAMA DE AUDIO HVXC

La estructura de la supertrama de audio HVXC es igual para todos los modos posibles, no usa la opción UEP y la longitud es constante y siempre con un valor de 20ms de duración.

HVXC puede usarse también con SBR ofreciendo en estas condiciones una codificación de voz de 4Kbps, para tal caso se asocian dos tramas HVXC con una trama SBR, ya que este último maneja tramas de 40ms; al igual que para la supertrama CELP, no usa señalización de ubicación de trama dentro de la supertrama; La Figura 1.14 muestra lo antes descrito.



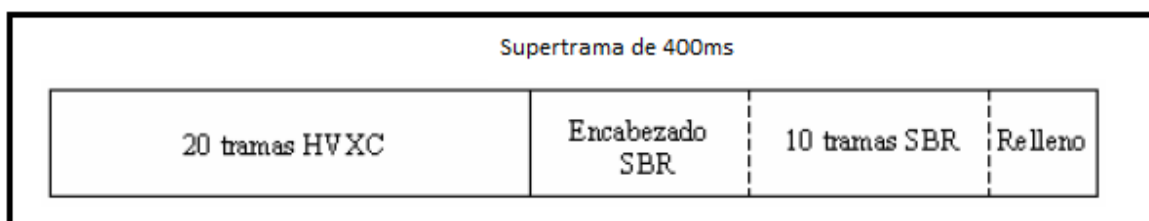


Figura 1.14: Supertrama de audio HVXC + SBR

Una vez analizadas de forma general las estructuras de las supertramas para distintos modos, se procede a analizar el multiplex DRM que básicamente comprende los distintos canales que intervienen en el sistema y que son necesarios para desarrollar distintas funciones.

### 1.7 MULTIPLEX DRM[6], [9] y [11]

Los canales que lo constituyen son los descritos en la sección anterior correspondiente a la arquitectura del sistema, y estos son: MSC, FAC y SDC, el conjunto de estos canales proveen las herramientas necesarias para que el receptor sincronice la señal y pueda decodificarla correctamente, Figura 1.15 resalta la parte del diagrama de bloques correspondiente al multiplex DRM.

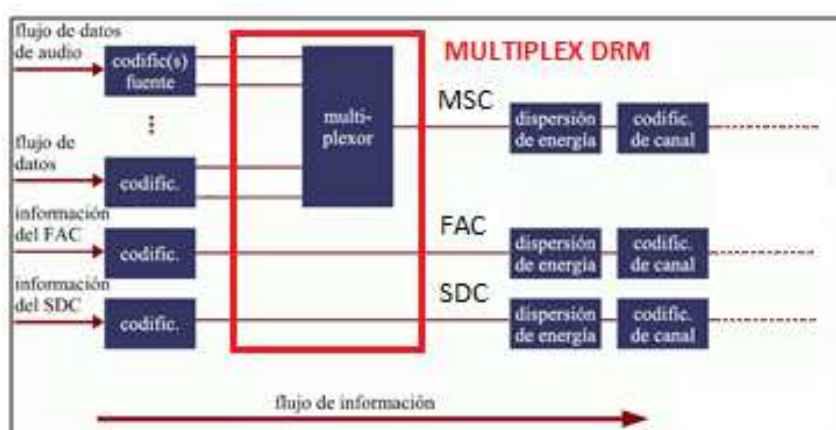


Figura 1.15: Multiplex DRM

### 1.7.1 CANAL DE SERVICIO PRINCIPAL (MSC)

Este canal contiene todos los datos para el servicio, y puede proveer hasta cuatro servicios, cada uno de estos servicios puede tener audio o datos, la tasa de bits de este canal va a depender del ancho de banda del canal DRM y del modo de transmisión.

Este canal tiene entre una y cuatro secuencias, divididas cada una en tramas lógicas; estas secuencias están constituidas de audio comprimido y pueden llevar mensajes de texto, pueden además componerse de 4 sub-secuencias formadas por paquetes de datos que definen un servicio, los servicios se pueden tener: servicio de audio que tiene una secuencia de audio y opcionalmente una secuencia o sub-secuencia de datos o un servicio de datos compuesto por una secuencia o sub-secuencia de datos.

Un ejemplo puede ser, tener un servicio de alta calidad con música y voz, junto con un servicio de voz de baja velocidad, o también un grupo de cuatro canales de voz de baja velocidad transportando noticias en cuatro idiomas

Una trama lógica generalmente está dividida en dos partes con su propio nivel de protección, la longitud de estas partes son independientemente asignadas, el UEP para una secuencia está dada para diferentes niveles de protección a las dos partes, las tramas lógicas duran 400ms y estas son mapeadas junto con las tramas multiplex de la misma duración para posteriormente ser tratadas por el codificador de canal.

Las tramas multiplex son las que se construyen tomando datos de la parte más protegida correspondiente a la trama lógica de la primera secuencia (secuencia 0 sin modulación jerárquica y secuencia 1 con modulación jerárquica), y estos datos se ponen al inicio de la trama multiplex, después se pone la parte más protegida de la trama lógica de la segunda secuencia y este proceso continúa hasta que todas las secuencias sean transmitidas, después de esto se colocan las partes menos protegidas de la trama lógica de la primera secuencia, después de la segunda y así

sucesivamente, para la descripción del multiplex se le asigna la letra A para la parte más protegida y la letra B para la menos protegida. Una condición que hay que cumplir es que la capacidad de la trama multiplex debe ser igual o mayor que la suma de todas las tramas lógicas de las cuales está formado, cuando la capacidad es mayor, los espacios vacíos deben rellenarse con ceros, también no debe haber bits de relleno entre la parte A y B.

Cuando se usa modulación jerárquica<sup>1</sup> es cuando existen tramas jerárquicas, estas son construidas tomando los datos de la trama lógica de la secuencia 0 y ubicadas al inicio de la trama jerárquica, al igual que en las tramas multiplex, las tramas jerárquicas deben ser igual o mayor que la suma de todas las tramas lógicas de las cuales está formado y para cuando la capacidad es mayor, los espacios vacíos deben rellenarse con ceros, los cuales son ignorados en recepción.

### **1.7.2 CANAL DE ACCESO RÁPIDO (FAC)**

Es usado para proveer información de parámetros de canal requerida para la demodulación, contiene información de servicios que soporta el receptor, información de ancho de banda, profundidad de entrelazado, etc. La información de este canal es la primera en ser decodificada ya que lleva los datos más críticos, condición que determina la modulación más robusta, este canal no se entrelaza en el tiempo lo que permite reducción en el tiempo de decodificación, el canal está constituido de 64 bits (parámetros del canal + parámetros de servicio) seguido del código CRC de 8 bits, esto se muestra en la Figura 1.16.

Los parámetros de servicio son transportados en tramas FAC sucesivas, necesariamente debe ser un servicio por trama, si varios servicios son los que se lleva en el multiplex DRM entonces se requiere varios bloques FAC.

---

<sup>1</sup> Sistema de modulación que permite la transmisión de dos flujos de datos de distinta prioridad (alta y baja)

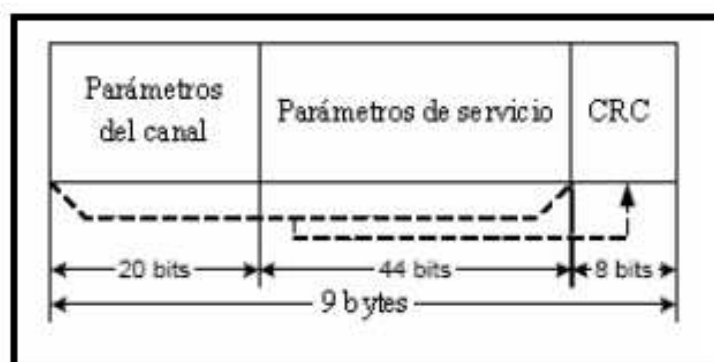


Figura 1.16: Canal FAC

Los 20 bits correspondientes a los parámetros del canal y los 44 bits correspondientes a los parámetros de servicio se detallan en la Tabla 1.4.

Parámetros del canal		Parámetros de servicio	
Descripción del campo	Número de bits	Descripción del campo	Número de bits
Bandera básica / mejorada	1	Identificador de servicio	24
Identidad	2	Identificador abreviado	2
Bandera RM	1	Indicación de acceso condicional (CA)	1
Ocupación del espectro	3	Idioma	4
Bandera de profundidad de entrelazado	1	Bandera audio / datos	1
Modo MSC	2	Descripción de servicio	5
Modo SDC	1	Indicador de datos CA	1
Número de servicios	4	Bits reservados para uso futuro	6
Índice de reconfiguración	3	TOTAL	44 bits
Bandera de alternar	1		
Bits reservados para uso futuro(Rfu)	1		
TOTAL	20 bits		

Tabla 1.4: Parámetros del canal y parámetros de servicio

Respecto a los bits correspondientes a los parámetros del canal tenemos:

- Bandera básica / mejorada.- Indica si la transmisión es decodificable para todos los receptores DRM (0L) o si es posible decodificar solo por receptores con capacidad de capa mejorada (1L).

- Identidad.- Indica el bloque FAC dentro de la supertrama y también valida los índices del campo SCD AFS (Conmutación de Frecuencia Alternativa)<sup>1</sup>.
- Bandera RM.- Identifica el modo de robustez (0L = DRM30 y 1L = DRM+)
- Ocupación del espectro.- Especifica el ancho de banda de la señal digital y va ligado a la bandera RM.
- Bandera de profundidad de entrelazado.- Indica la profundidad del tiempo de entrelazado y va ligado a la bandera RM.
- Modo MSC.- Indica el modo de modulación, va de 64-QAM a 4-QAM<sup>2</sup> y va ligado a la bandera RM.
- Modo SDC.- Indica el modo de modulación, va de 16-QAM a 4-QAM y va ligado a la bandera RM.
- Número de servicios.- Indica el número de servicios de audio y datos, (como 0000 = 4 servicios de audio, 0011 = 3 servicios de datos, 1000 = 2 servicios de audio, etc.)
- Índice de reconfiguración.- Indica el estado y tiempo de reconfiguración del multiplex.
- Bandera de alternar.- Indica que la trama de transmisión puede contener el inicio de la siguiente supertrama de audio.
- Bits reservados para uso futuro.- Para aplicaciones futuras, mientras tanto se fijan en cero.

Para los bits correspondientes a los parámetros de servicio tenemos:

- Identificador de servicio.- Único campo identificador de un servicio.
- Identificador abreviado.- Indica el nombre corto asignado a un servicio y se usa como referencia para el SDC.
- Indicación de acceso condicional (CA).- Sirve para indicar si utiliza el acceso condicional o no en la secuencia de audio.

---

<sup>1</sup> Hace referencia a la posibilidad de seleccionar y conmutar a una frecuencia alternativa.

<sup>2</sup> Modulación de Amplitud en Cuadratura.

- Idioma.- Indica el idioma (ejemplo: 0001 = árabe, 1110 = español, etc.)
- Bandera audio / datos.- Indica si es servicio de audio (0L) o servicio de datos (1L).
- Descripción de servicio.- Usador para indicar el tipo de programación (ejemplo: 0001 = noticias, 0100 = deportes, etc.)
- Indicador de datos CA.- Indica si el servicio usa acceso condicional (CA)
- Bits reservados para uso futuro.- Para aplicaciones futuras, mientras tanto se fijan en cero.

Para la parte de CRC se lo hace como se mencionó en la parte de supertrama de audio AAC descrita anteriormente.

### **1.7.3 CANAL DE DESCRIPCIÓN DE SERVICIO(SDC)**

Proporciona información de cómo decodificar el MSC, cómo encontrar fuentes alternativas de los mismos datos y da atributos a los servicios dentro del multiplex DRM, siempre usa codificación no tan compleja con el objeto de poder decodificar a un bajo SNR (Relación Señal a Ruido) que el necesario para decodificar el MSC.

La capacidad del canal varía de acuerdo a la ocupación del espectro y de otros parámetros, y opcionalmente esta capacidad puede ser incrementada cuando se usa el índice AFS relacionada con la conmutación de frecuencia alternativa.

El SDC es tratado como un canal único de datos, la cantidad de datos necesarios a enviar puede requerir más de un bloque SDC, tiene un índice AFS que le permite conocer al receptor cuando se transmitirá la próxima ocurrencia del bloque SDC actual para poder hacer uso de la función AFS para conmutación a una frecuencia alternativa, esta función será validada o no usando un campo de los parámetros de canal del FAC descritos anteriormente; sobre el AFS se tratará más adelante.

El canal es de longitud variable y básicamente está constituido de los siguientes campos: Bits reservados para uso futuro o Rfu(4 bits), Índice AFS (4 bits), Datos SDC (n bits) y CRC (16 bits), estos campos están representados en la Figura 1.17.

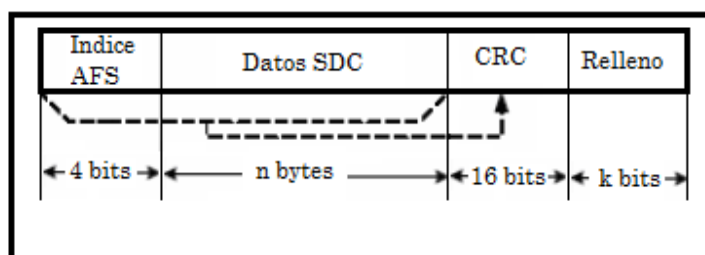


Figura 1.17: Canal SDC

De estos campos podemos decir lo siguiente:

Índice AFS.- 4 bits correspondientes a 16 combinaciones cuya finalidad es indicar el número de supertramas de transmisión que separa un bloque SDC del siguiente, estos tendrán idéntico contenido cuando el campo Identidad del FAC este seteado en 00.

Datos SDC.- Campo variable cuya longitud depende del modo de robustez y de la ocupación del espectro, la Tabla 1.5 muestra esta relación.

Modos de robustez	Modo SDC	Longitud del campo de datos en bytes					
		Ocupación del espectro					
		0	1	2	3	4	5
A	0	37	43	85	97	184	207
	1	17	20	41	47	91	102
B	0	28	33	66	76	143	161
	1	13	15	32	37	70	79
C	0	-	-	-	68	-	147
	1	-	-	-	32	-	72
D	0	-	-	-	33	-	78
	1	-	-	-	15	-	38
E	0	113	-	-	-	-	-
	1	55	-	-	-	-	-

Tabla 1.5: Longitud del campo de datos del SDC

CRC.- Comprenden 16 bits calculados sobre el Índice AFS y los Datos usando el siguiente polinomio generador  $G_8(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ .

Relleno.- Puede contener de 0 a 7 bits, este valor depende del modo de robustez, del modo SDC y de la ocupación del espectro, estos bits son ignorados en recepción.

### **1.7.3.1 FRECUENCIAS ALTERNATIVAS**

Tiene que ver con la posibilidad que brinda el sistema DRM de responder a inconvenientes de recepción cambiando de forma automática a una frecuencia alternativa con mejores características, este cambio puede además ser un cambio de servicio e incluso un cambio de sistema de transmisión. Esta opción puede estar habilitada para todo el multiplex DRM o solo para algunos servicios dentro de este.

Los casos en los que se considera una frecuencia alternativa son: cuando el multiplex DRM es transmitido de forma idéntica y con la misma sincronización en otra frecuencia, en este caso el cambio de frecuencia no interrumpe el servicio, cuando en el multiplex DRM tiene mismo servicios y lo que difiere son los parámetros de canal y la sincronización, cuando en el multiplex DRM se tiene solo algunos servicios, para estos dos últimos casos ocurre una interrupción del servicio.

La lista de frecuencias alternativas es transmitida en el SDC, en esta se registran las frecuencia con misma programación o con ciertos servicios asociados en común, lleva también información de servicios que no son DRM como AM analógica, multiplex DAB pero que llevan la misma programación, estas características son útiles por ejemplo cuando se tiene una MFN (Red de Frecuencias Múltiples).

Dentro de las posibilidades que esta opción tiene es que la lista de frecuencias puede restringirse dentro de un limitado tiempo o espacio geográfico, además del establecimiento de prioridades al preferir cambiar al mismo servicio antes que cambiar de servicio y puede escoger entre las opciones de mejor calidad de servicio.



## 1.8 CODIFICACIÓN DE CANAL Y MODULACIÓN [9], [10],[11] y[13]

El proceso de codificación de canal tiene como objeto incrementar la robustez y adaptar la información al medio de transmisión, para posteriormente convertir esta información en una señal de radiofrecuencia

El sistema hace uso de la técnica COFDM (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal Codificada), técnica que básicamente hace uso del FEC (Corrección de Errores hacia Adelante) el cual proporciona redundancia útil para resistir al ruido, desvanecimiento, etc., basadas en esquemas de codificación multinivel. El sistema COFDM transmite datos codificados sobre un determinado número de subportadoras ortogonales moduladas individualmente y espaciadas en frecuencia las cuales llevan solo cierta parte de la información, el número de subportadoras varía desde 88 a 458 dependiendo el modo de robustez y ancho de banda utilizado, esta es una de las características que determinan la robustez del sistema DRM ya que perder una subportadora (un símbolo) es insignificante que si se perdiera la portadora en una transmisión AM. Parte del comportamiento COFDM se muestra en la Figura 1.18.

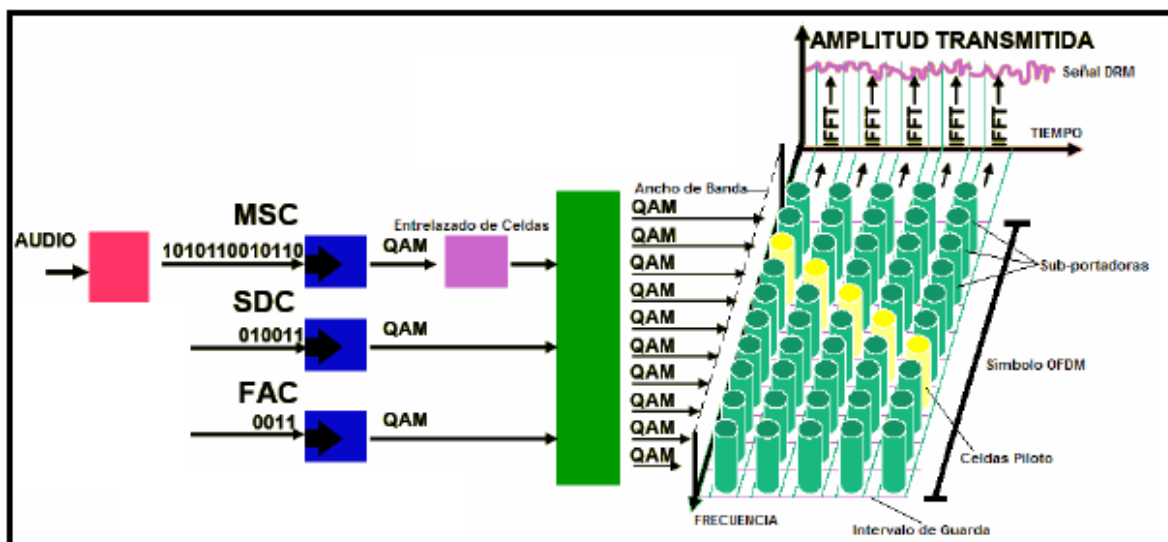


Figura 1.18: Codificación, entrelazado y transmisión.

La modulación y demodulación usa la transformada rápida de Fourier (FFT) y la transformada inversa de Fourier (IFFT)<sup>1</sup> respectivamente, básicamente sigue el esquema de la Figura 1.19.

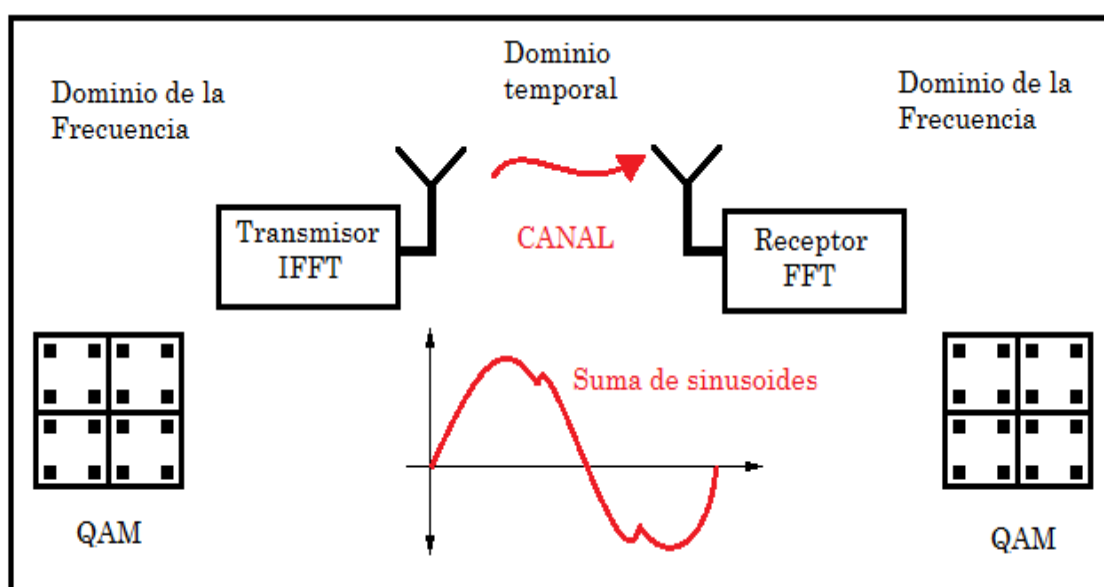


Figura 1.19: Diagrama de bloques de un sistema OFDM básico.

Las subportadoras se modulan en QAM, y los esquemas de QAM (n-QAM) utilizados dependerán del canal y del modo de robustez al cual trabaja el sistema, dependerá también si el canal usa UEP o EEP (Protección Igual de Error), para EEP se usa una única tasa de código para la protección de los datos, siendo esto obligatorio para los canales FAC y SDC; mientras que para UEP puede usar dos tasas de código para cada parte.

Los procesos que involucran al inicio son: adaptación al transporte multiplex, dispersión de energía, codificación y entrelazado de bits, mapeo en celdas QAM y entrelazado de celdas, esto se muestra en la Figura 1.20.

---

<sup>1</sup>FFT e IFFT son algoritmos que permiten calcular la transformada de Fourier discreta y su inversa respectivamente.

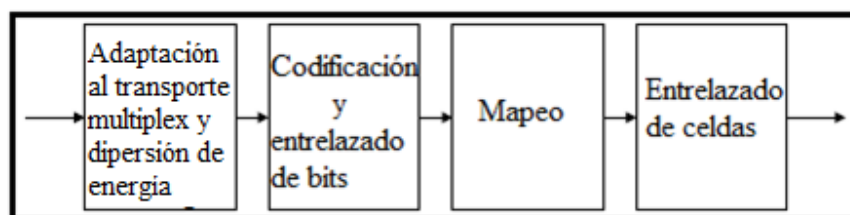


Figura 1.20: Diagrama de bloques funcional de la codificación y el entrelazado.

### 1.8.1 TRANSPORTE MULTIPLEX Y DISPERSIÓN DE ENERGÍA

Los canales (MSC, FAC y SDC) son procesados independientemente, el procesamiento implica el tratamiento de la información en longitudes apropiadas, y de esta longitud se desprende la cantidad de celdas OFDM.

Respecto al canal MSC la longitud depende de la ocupación del espectro, las constelaciones utilizadas (n-QAM), los modos de robustez, las tasas de codificación utilizadas y el sistema de protección (UEP o EEP).

Respecto al canal FAC la longitud (72 bits) y el número de celdas (65 celdas) son fijos porque no dependen de ningún parámetro.

Para el canal SDC la longitud es variable (y por tal razón el número de celdas OFDM) y depende del modo de robustez, ocupación del espectro y constelaciones utilizadas.

Dentro de la parte de dispersión de energía la idea es evitar que irregularidades no deseadas se introduzcan en la señal transmitida, para ello a la señal original se la suma con la siguiente secuencia pseudo-aleatoria  $P(x) = x^9 + x^5 + 1$ .

### 1.8.2 CODIFICACIÓN

Como ya mencionamos, la codificación se basa en esquemas de codificación multinivel, usa técnicas de codificación y modulación para obtener el mejor desempeño en la transmisión, y la idea consiste en usar constelaciones QAM con

más protección para aquellos bits más propensos; la codificación requiere de procesos previos como el particionamiento de la información en niveles, la codificación convolucional, el entrelazado de bits y finalmente el mapeo en constelaciones QAM.

### **1.8.2.1 PARTICIONAMIENTO, CODIFICACIÓN Y ENTRELAZADO**

El particionamiento de la información consiste en dividir el flujo principal de datos en flujos secundarios de la misma longitud, estos flujos se llaman niveles y pueden ser: C0, C1 o C2, el número de flujos secundarios depende de la constelación de la señal, del mapeo utilizado y esto distingue además los esquemas de codificación multinivel.

Hay tres tipos de mapeos SM (Mapeo Estándar), HMsym (Mapeo Jerárquico Simétrico) y HMmix (Mapeo Jerárquico Mixto), estos tipos de mapeo tienen que ver con el tratamiento de los flujos de bits. La combinación del mapeo con los niveles de partición de la información definen los cinco esquemas de codificación siguientes:

- Codificación multinivel con tres niveles con SM.- C0, C1 y C2 con mapeo SM.
- Codificación multinivel con tres niveles con HMsym.- C0, C1 y C2 con mapeo HMsym.
- Codificación multinivel con tres niveles con HMmix.- C0, C1 y C2 con mapeo HMmix.
- Codificación multinivel con dos niveles con SM.- C0 y C1 con mapeo SM.
- Codificación multinivel con un nivel con SM.- C0 con mapeo SM.

Estos esquemas de codificación usan códigos convolucionales perforados basados en un código base de tasa 1/6 (bits que entran / bits que salen) y una longitud de restricción de 7 (representa el número de fases en el que un bit ejerce influencia sobre la salida), los elementos de memoria deben ser la longitud de restricción menos 1 (esto es 6 elementos de memoria), usa los siguientes polinomios generadores 133, 171, 145, 133, 171 y 145 respectivamente (expresados en forma

octal), estos representan las conexiones hacia cada sumador. Posteriormente la secuencia obtenida se somete a las matrices de perforación las cuales incluyen un segundo nivel de codificación sin añadir demasiada redundancia (la idea de códigos perforados es eliminar periódicamente bits de la salida del codificador convolucional debido a que la decodificación es complicada para tasas elevadas). En la Figura 1.21 se muestra el diagrama correspondiente al codificador convolucional.

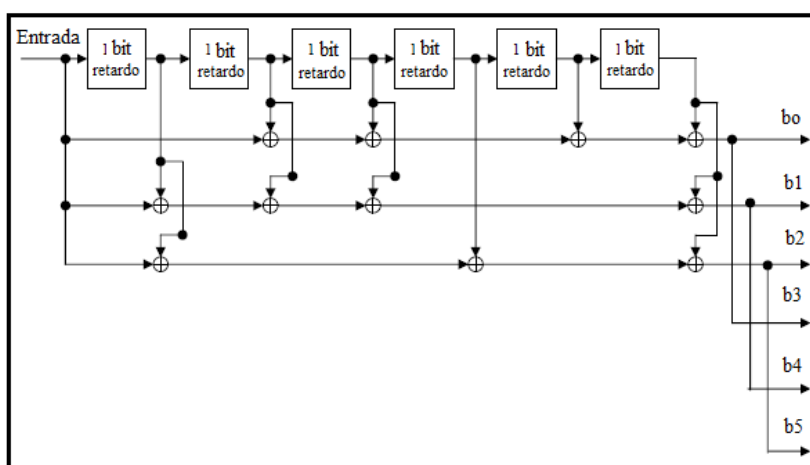


Figura 1.21: Codificador convolucional.

El proceso que continúa es el entrelazado de bits el cual involucra un reordenamiento de los bits para evitar errores fuertes sobre la información total; este proceso se aplica a todos los esquemas de codificación con la particularidad que para los esquemas a tres niveles el entrelazado se hace solamente sobre los niveles C1 y C2.

### 1.8.2.2 MAPEO DE CONSTELACIONES QAM Y SÍMBOLOS OFDM

La estrategia de mapeo para cada celda OFDM depende del canal y de los modos de robustez utilizados, estos pueden ser 4-QAM, 16-QAM y 64-QAM.

Para el MSC se puede usar 64-QAM con la mayor eficiencia espectral o 16-QAM que es más robusta para protección de errores, cada una de estas puede usar diferente

distintos nivel de protección frente a errores (los niveles están jerarquizados por los números 0, 1, 2 y 3), los niveles de protección están definidos en la Tabla 1.6.

<b>Esquema de modulación</b>	<b>N = nivel de protección</b>	<b>Tasa de código</b>
QAM-16	0	1/3
	1	1/2
QAM-64	0	1/4
	1	1/3
	2	1/2
	3	2/3

Tabla 1.6:Niveles de protección.

Para el SDC se puede usar 16-QAM con mayor capacidad o 4-QAM siendo en este caso más robusta frente a errores, para este canal se aplica una relación de protección fija. Para el FAC se usa 4-QAM, con una relación de protección fija

El tipo de constelación escogido influye en la SNR esperada en el área de servicio, para cuando usamos 64-QAM la relación señal a ruido es más baja que en 16-QAM.

Respecto a los símbolos OFDM sabemos que están constituidos por subportadoras transmitidas durante un tiempo  $T_s$  resultado de sumar una parte útil ( $T_u$ ) más un intervalo de guarda ( $T_g$ ), la particularidad del  $T_g$  es que consiste en una continuación cíclica de  $T_u$ , evitando problemas de multitrayecto y permitiendo que la mayor parte de las señales se sumen, es decir que contribuyan positivamente, esto es muy útil para aplicaciones en (SFN) Redes de Frecuencia Única.

También se indicó anteriormente que el sistema se divide en distintos modos de transmisión A, B, C, D y E<sup>1</sup> modos que aplican a onda de superficie (ondas

---

<sup>1</sup> Los modos A, B, C y D aplican a DRM30 el modo E aplica a DRM+

hectométricas) donde el ruido eléctrico es el factor más influyente (este modo aplica sobre la radiodifusión en AM actual), así como en ondas ionosféricas (ondas decamétricas); los tiempos asociados a la duración del símbolo OFDM en función de los modos se muestra en la Tabla 1.7.

Modo de robustez	Duración $T_u$	Duración $T_g$	Duración del símbolo	Simbolos por trama
A	24 ms	2,66 ms	26,66 ms	15
B	21,33 ms	5,33 ms	26,66 ms	15
C	14,66 ms	5,33 ms	20 ms	20
D	9,33 ms	7,33 ms	16,66 ms	24
E	2,25 ms	0,25 ms	2,5 ms	40

Tabla 1.7: Modos de robustez vs duración del símbolo OFDM

Finalmente después de completar todos estos procesos que implican la codificación lo que hay que hacer es adecuar la señal al medio de transmisión inalámbrico, para lo cual el modulador convierte la representación digital en una señal analógica, para amplificarla y enviarla a la antena.

## Capítulo 2

# DISEÑO DEL SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN CON EL ESTÁNDAR DRM30

### 2.1 AMPLITUD MODULADA[14] y [15]

La radiodifusión en AM analógica transmite una portadora en alta frecuencia modulada en amplitud donde la variación de la señal de información produce cambios en la amplitud de la portadora, se caracteriza por propagarse a través de ondas de superficie, es económica y de baja calidad.

La radiodifusión en AM opera en la bandas comprendidas entre 525 a 1705KHz (en Ecuador las portadoras parten de 530KHz), esta banda considera el Acuerdo Regional sobre el servicio de radiodifusión por ondas hectométricas celebrado en la ciudad de Río de Janeiro en 1981 y de la Ley y Reglamento de Radiodifusión y Televisión vigente, tiene una canalización de 20KHz con un ancho de banda de 10KHz y para una misma zona hay 59 canales[16].

Dentro de un sistema de radiodifusión puede identificarse estaciones matrices y repetidoras, una estación matriz (Figura 2.1) transmite programación generada en su propio estudio y está constituido de: estudio, sistema de transmisión y un enlace estudio – transmisor, una estación repetidora es la que recibe toda la información de la matriz y transmite simultáneamente.



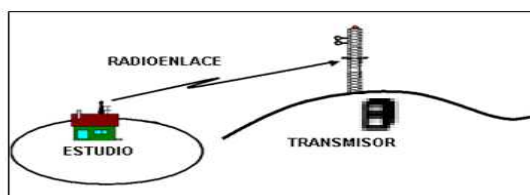


Figura 2.1: Estación matriz[15].

## 2.2 DISEÑO

Como el diseño se concentra en una emisión simulcast, la metodología consiste en considerar parámetros técnicos de planificación acorde a las necesidades del proyecto, limitaciones de la transmisión AM analógica, parámetros relevantes del estándar y consideraciones de la Recomendación UIT-R BS.1615, posteriormente a esto se genera los diagramas de bloques correspondientes a la cadena de todo el sistema donde se configura el sistema de acuerdo al estándar, y se propondrá una marca de equipos existentes en el mercado, al final se expone el procedimiento para los cálculos de enlaces y cobertura.

### 2.2.1 PARAMETROS TÉCNICOS DE PLANIFICACIÓN [9], [17]

Los parámetros técnicos van orientados en función de la respectiva reglamentación que determinado país tenga, en el caso del Ecuador usa el Acuerdo Regional sobre el servicio de radiodifusión por ondas hectométricas y la Ley y Reglamento de Radiodifusión y Televisión. La importancia de tener leyes permite definir parámetros, controlar, establecer límites permitidos, dentro de estos se definen por ejemplo: tipos de transmisión (local, regional, nacional e internacional), respeto al espectro radioeléctrico al ser un recurso natural limitado necesariamente deben definirse políticas de uso.

Para considerar parámetros técnicos una base será la Recomendación UIT-R BS.1615 [17] que define los parámetros de planificación para la radiodifusión sonora digital en frecuencias inferiores a 30MHz. Este documento considera estudios que la

UIT está realizando sobre radiodifusión digital y que ya existen estandarizados algunos sistemas de radiodifusión digital.

La reglamentación existente para Onda Media no es una norma técnica, solo ofrece pautas respecto a parámetros generales a considerar en un sistema de radiodifusión en esta banda, por lo que en este sentido se tiene un tanto de flexibilidad para operar, por ejemplo respecto a la canalización sabemos que se define un ancho de banda de 10KHz con una canalización de 20KHz, pero dada la legislación es posible usar los 20KHz como ancho de banda pero comprometiéndose a garantizar no rebasar la canalización asignada.

Una adecuada definición de parámetros requiere necesariamente de pruebas de campo, es decir pruebas sobre un sistema que ya esté en funcionamiento así como la Superintendencia de Telecomunicaciones ha venido haciendo con las pruebas de televisión digital.

La transmisión local está destinada a cubrir un área corta, suficiente con un transmisor y donde este puede estar localizado o no junto al propio centro de producción (estudio), para cuando el transmisor está distante del estudio se usan enlaces como fibra óptica, cable, radio o microonda. En una transmisión regional es necesario más de un transmisor cuya idea es ampliar el área de cobertura y resolver zonas de sombra, e incluso pueden ser necesarias estaciones repetidoras; los demás tipos de transmisión están destinados a cubrir áreas aún más grandes.

Para el presente proyecto, el diseño tiene que ser simple y práctico para que permita describir el sistema digital de una manera clara y poder extraer características técnicas básicas, es por ello que el diseño está definido en base a una transmisión local y con la ubicación del transmisor distante al estudio, la idea de distancia tiene como objeto plantear al diseño dentro de un ambiente similar al ambiente en el que opera la radiodifusión analógica en el Ecuador, es decir, el estudio en el centro de una urbe y el transmisor en un cerro para beneficios de cobertura en cuando a altura.

La parte correspondiente al diseño de alimentación eléctrica, protección a tierra, administración de información y cableado estructurado quedan fuera del presente trabajo debido a que estas consideraciones no están dentro del alcance del proyecto.

Dentro de las frecuencias no concesionadas actualmente y dado que el tipo de transmisión es local podemos tomar una frecuencia alta dentro de la banda AM, esta frecuencia es 1430KHz.

Para el enlace estudio-transmisor la frecuencia auxiliar tomada del Plan Nacional de Distribución de frecuencias será una comprendida dentro de la banda de microonda 2310 – 2360 MHz[16].

La radiodifusión AM analógica usa 10 KHz para una transmisión en doble banda lateral con presencia de portadora, es decir la información emitida por el radiodifusor se concentra en 5KHz y el ancho de banda disponible para el sistema DRM es de 5KHz, las emisiones simulcast analizan niveles mínimos de intensidad de campo para una adecuada convivencia digital-analógica detallados en la Recomendación UIT-R BS.1615.

Puede considerarse un máximo de 20KHz siempre y cuando no se generen efectos perjudiciales a canales vecinos.

La potencia requerida para una estación de onda media local debe ser máximo 3kW y dentro de esta para lugares cuya población pase de 50 mil habitantes (Quito tiene un aproximado de 2 millones de habitantes) debe ser mínimo 1kW, es decir para el diseño se puede jugar con una rango de potencia comprendido entre 1 y 3kW<sup>1</sup>. Estos parámetros corresponden a una estación clase C, los niveles de potencia para una estación de esta clase en un sistema DRM va entre 200 y 600W [11].

---

<sup>1</sup>Ley de Radiodifusión y Televisión, Capítulo V.

Para relacionar los anchos de banda con los modos de robustez que define el estándar se tiene la Tabla 2.1, en esta se observa que los cuatro modos de robustez cumplen los requisitos de ancho de banda disponibles para el diseño (10kHz).

Modo de robustez	Tipo de ocupación del espectro (kHz)			
	0	1	2	3
A	4,208	4,708	8,542	9,542
B	4,266	4,828	8,578	9,703
C	–	–	–	9,477
D	–	–	–	9,536
Anchura de banda nominal (kHz)	4,5	5	9	10

Tabla 2.1: Ancho de banda de los distintos modos de robustez DRM [17].

Los requerimientos de buena calidad demandan un BER de  $1 \times 10^{-4}$ , la SNR necesaria en recepción para cumplir con este BER depende de otros parámetros, la Tabla 2.2 muestra los valores necesarios de SNR para garantizar el BER en función de los modos de robustez.

Esquema de modulación	N.º de nivel de protección	Índice de codificación medio	Modo de robustez/tipo de ocupación del espectro			
			A/2 (9 kHz)	B/3 (10 kHz)	C/3 (10 kHz)	D/3 (10 kHz)
MAQ-16	0	0,5	8,6	9,3	9,6	10,2
	1	0,62	10,7	11,3	11,6	12,1
MAQ-64	0	0,5	14,1	14,7	15,1	15,9
	1	0,6	15,3	15,9	16,3	17,2
	2	0,71	17,1	17,7	18,1	19,1
	3	0,78	18,7	19,3	19,7	21,4
Esquema de modulación	N.º de nivel de protección	Índice de codificación medio	Modo de robustez/tipo de ocupación del espectro			
			A/0 (4,5 kHz)	B/1 (5 kHz)		
MAQ-16	0	0,5	8,8	9,5		
	1	0,62	10,9	11,5		
MAQ-64	0	0,5	14,3	14,9		
	1	0,6	15,8	16,2		
	2	0,71	17,5	17,9		
	3	0,78	19,2	19,5		

Tabla 2.2: Valor de SNR (dB) que garantiza un BER de  $1 \times 10^{-4}$  [17].

Por otro lado el valor de intensidad de campo se calcula en base a la SNR, para relacionar los mínimos valores de intensidad de campo con el modo de robustez A (modo A aplica para el presente proyecto) y los esquemas de modulación medidos en base a la SNR de receptores digitales se tiene la Tabla 2.3.

Esquema de modulación	N.º de nivel de protección	Índice de codificación medio	Modo de robustez /tipo de ocupación del espectro	
			A/0 (4,5 kHz), A/1 (5 kHz)	A/2 (9 kHz), A/3 (10 kHz)
MAQ-16	0	0,5	33,3	33,1
	1	0,62	35,4	35,2
MAQ-64	0	0,5	38,8	38,6
	1	0,6	40,3	39,8
	2	0,71	42,0	41,6
	3	0,78	43,7	43,2

Tabla 2.3: Mínima intensidad de campo [(dB( $\mu$ v/m))] para modo A de robustez [17].

Debe considerarse las relaciones de protección entre las señales que en el medio de transmisión se encuentran para evitar las interferencias, las relaciones dependen del modo de robustez y del ancho de banda utilizado, la Tabla 2.4 muestra las relaciones de protección para una señal AM interferida por una señal DRM y viceversa. Esta Tabla 2.4 considera la separación en frecuencia entre las señales para definir una relación de protección y detalladas para los distintos modos de robustez y ancho de banda utilizado, por ejemplo la señal DRM\_A0 indica modo de robustez A y ancho de banda de 4.5KHz.

Respecto a las relaciones de potencia entre las dos transmisiones se considera también la Tabla 2.5 que muestra en función de separación entre las señales y considerando los distintos modos DRM con distintos anchos de banda.

Otros parámetros que considera es la tolerancia de frecuencia dada a +/- 10Hz, la tolerancia a error de potencia de +/- 10%, el sistema de antenas pueden ser las torres omnidireccionales usadas para AM o antenas direccionales.

Señal deseada	Señal no deseada	Separación de frecuencia $f_{no\ deseada} - f_{deseada}$ (kHz)													Parámetros	
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20	$B_{DRM}$ (kHz)	$A_{AF}^{(1),(2)}$ (dB)
MA	DRM_A0	-50,4	-50,4	-49,1	-35,6	-28,5	6,5	6,6	-31,1	-46,9	-48,3	-50,4	-50,4	-50,4	4,5	-
MA	DRM_A1	-50,9	-50,6	-47,9	-32,5	-24,5	6,1	6,1	-31,3	-46	-47,7	-50,9	-50,9	-50,9	5	-
MA	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	-
MA	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	-
MA	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	-
MA	DRM_B1	-51	-50,5	-47,6	-32	-23,8	6	6	-31,1	-45,7	-47,4	-51	-51	-51	5	-
MA	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	-
MA	DRM_B3	-47,2	-45,3	-41,9	-32	-25,9	3	6	3	-25,9	-32	-41,9	-45,3	-47,2	10	-
MA	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	-
MA	DRM_D3	-47,4	-45,5	-42,2	-32,4	-26,5	3,1	6,1	3,1	-26,5	-32,4	-42,2	-45,5	-47,4	10	-

Señal deseada	Señal no deseada	Separación de frecuencia $f_{no\ deseada} - f_{deseada}$ (kHz)													Parámetros	
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20	$B_{DRM}$ (kHz)	$S/I$ (dB)
DRM_A0	MA	-57,7	-55,5	-52,2	-46,2	-45	-36,7	0	-3,5	-31,2	-41,1	-47	-50,7	-53	4,5	4,2
DRM_A1	MA	-57,5	-55,2	-52	-45,9	-44,8	-36,6	0	-0,6	-22,8	-38,4	-46,1	-49,8	-52,2	5	4,2
DRM_A2	MA	-54,7	-52,4	-48,8	-42,9	-34	-6,5	0	-6,5	-34	-42,9	-48,8	-52,4	-54,7	9	6,7
DRM_A3	MA	-54	-51,7	-48,1	-40,6	-25,8	-3,6	0	-3,6	-25,8	-40,6	-48,1	-51,7	-54	10	6,7
DRM_B0	MA	-57,7	-55,5	-52,2	-46,1	-45	-36,2	0	-3,5	-30,9	-41,1	-46,9	-50,6	-53	4,5	4,6
DRM_B1	MA	-57,4	-55,2	-51,9	-45,9	-44,7	-36	0	-0,2	-22	-37,6	-46	-49,6	-52	5	4,6
DRM_B2	MA	-54,6	-52,4	-48,8	-42,8	-33,7	-6,4	0	-6,4	-33,7	-42,8	-48,8	-52,4	-54,6	9	7,3
DRM_B3	MA	-53,9	-51,5	-48	-39,9	-25	-3,1	0	-3,1	-25	-39,9	-48	-51,5	-53,9	10	7,3
DRM_C3	MA	-54	-51,7	-48,1	-40,9	-26,1	-3,8	0	-3,8	-26,1	-40,9	-48,1	-51,7	-54	10	7,7
DRM_D3	MA	-54	-51,7	-48,1	-40,7	-25,8	-3,6	0	-3,6	-25,8	-40,7	-48,1	-51,7	-54	10	8,6

Tabla 2.4: Relaciones de protección [17].

Señal deseada	Señal no deseada	Separación de frecuencia $f_{no\ deseada} - f_{deseada}$ (kHz)													Parámetros	
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20	$B_{DRM}$ (kHz)	$A_{AF}$ (dB)
MA	DRM_A0	5	2,9	0,4	-0,1	0,5	9	6,6	-28,6	-17,9	-12,8	-0,9	2,9	5	4,5	-
MA	DRM_A1	4,5	2,7	1,6	3	4,5	8,6	6,1	-28,8	-17	-12,2	-1,4	2,4	4,5	5	-
MA	DRM_A2	6,5	6,3	5,9	1	-0,8	5,9	6,6	5,9	-0,8	1	5,9	6,3	6,5	9	-
MA	DRM_A3	8	7,8	7,4	3,1	2,5	5,6	6,1	5,6	2,5	3,1	7,4	7,8	8	10	-
MA	DRM_B0	5	2,9	0,5	0	0,6	8,9	6,6	-28,4	-17,7	-12,7	-0,9	2,9	5	4,5	-
MA	DRM_B1	4,4	2,8	1,9	3,5	5,2	8,5	6	-28,6	-16,7	-11,9	-1,5	2,3	4,4	5	-
MA	DRM_B2	6,6	6,4	6	1,1	-0,7	5,9	6,5	5,9	-0,7	1,1	6	6,4	6,6	9	-
MA	DRM_B3	8,2	8	7,6	3,5	3,1	5,5	6	5,5	3,1	3,5	7,6	8	8,2	10	-
MA	DRM_C3	7,9	7,7	7,3	2,9	2,3	5,6	6,1	5,6	2,3	2,9	7,3	7,7	7,9	10	-
MA	DRM_D3	8	7,8	7,3	3,1	2,5	5,6	6,1	5,6	2,5	3,1	7,3	7,8	8	10	-

Tabla 2.5: Reducción de potencia necesaria[17].

Para una adecuada determinación de un sistema, deben considerarse otros parámetros para su correcto funcionamiento, esto es por ejemplo el nivel de ruido externo producto del ruido generado por las personas, también la naturaleza impulsiva de ciertos ruidos, debe incorporarse además la influencia de las distintas condiciones ambientales que puedan manifestarse como lluvia, tormentas, etc., estos deben definirse con pruebas sobre una sistema ya instalado y con un análisis estadístico pertinente.

El resumen de los parámetros expuestos hasta este punto se presenta en la Tabla 2.6.

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Tipo de transmisión	Local
Tamaño del sistema	Pequeño
Tipo de emisión	Simulcast (Análogica-Digital)
Frecuencia de operación	1430KHz
Frecuencia auxiliar (estudio – transmisor)	2310 – 2360 MHz
Ancho de banda simulcast disponible	Máximo 20KHz
Ancho de banda DRM disponible	5 a 10KHz
Potencia emisión analógica	1 a 3kW
Potencia emisión digital	200 a 600W
Modos de robustez aplicables	A
Tasa de error de bits (BER)	$1 \times 10^{-4}$ bits
Relación señal a ruido (SNR)	8,6 a 19,5 dB (ver Tabla 9)
Intensidad de campo eléctrico para modo A	33,3 a 43,2 dB (ver Tabla 10)
Relación de protección	0 a 57,5 dB (ver Tabla 11)
Reducción de potencia necesaria	0 a -28,6 dB (ver Tabla 12)
Tolerancia de frecuencia	+/- 10Hz
Tolerancia a error de potencia	+/- 10%
Sistema radiante	Monopolo vertical / antenas parabólicas

Tabla 2.6: Parámetros considerados para el diseño

### 2.2.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA CADENA DE TRANSMISIÓN [18]

El esquema simplificado de un sistema de radiodifusión digital está estructurado de las partes que se describen en la Figura 2.2.

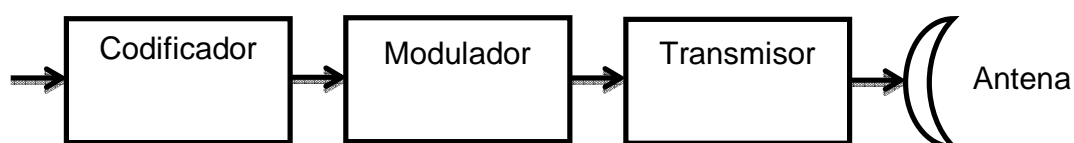


Figura 2.2: Esquema del sistema de radio digital.

Del diagrama, el Codificador elimina redundancia y pone la señal en un formato apropiado, el Modulador se encarga de adaptar la información de salida del Codificador a una forma de onda dentro del canal de transmisión, el Transmisor constituye la adaptación última de la señal antes de enviar a la antena y finalmente la Antena se encarga de radiar por el espacio libre la señal.

Dentro del sistema DRM el esquema que describe una red de radiodifusión local es la detallada en la Figura 2.3.

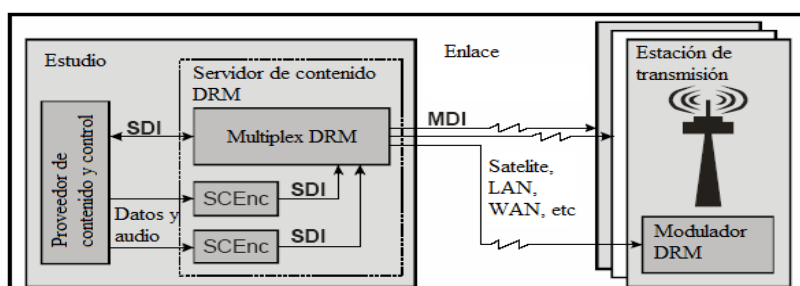


Figura 2.3: Esquema de transmisión DRM local[18].

El esquema de la Figura 2.3 tiene la misma estructura que el esquema de la estación matriz de la Figura 2.1, es decir, las partes son: el Estudio, el Enlace y el Transmisor, también va relacionado con el diagrama de la Figura 2.2, es decir, tiene codificador (servidor de contenido), modulador, transmisor y la antena.

El SDI (Interfaz de Distribución de Servicio) y el MDI (Interfaz de Distribución de Multiplexor) junto con el MCI (Interfaz de Control de Modulador) y el RSCI (Interfaz de Control y Estado de Receptor), forman parte del protocolo DCP (Protocolo de Comunicación y Distribución), que el estándar define para el sistema, y que tiene como finalidad ofrecer un enlace fiable en el sistema. El protocolo tiene su



arquitectura de acuerdo a las necesidades y características del sistema y acorde a cada interfaz que usa.

En la Figura 2.3 los bloques SCEnc (Codificador de Componente de Servicio) corresponden a la codificación de audio y datos, es decir, la codificación de fuente.

La Figura 2.4 presenta el esquema de diseño base del sistema DRM, el cual relaciona el esquema de transmisión escogido con la arquitectura del sistema (ver capítulo 1, Figura 1.3), en este esquema también se puede ver los distintos equipos que se disponen en el mercado, estos son el Servidor de Contenido, el Modulador y el Transmisor.

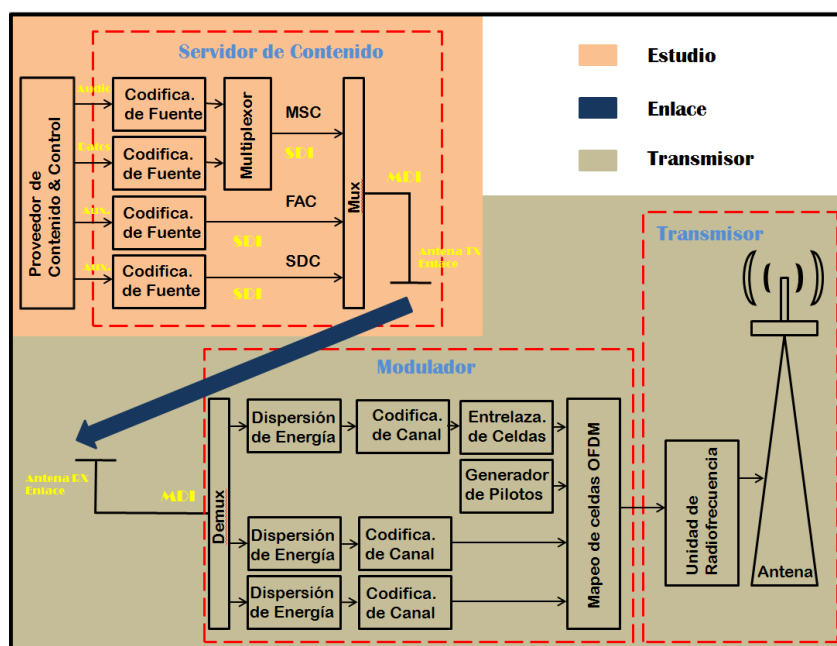


Figura 2.4: Esquema de diseño del sistema DRM [7] y [18].

En base a la Figura 2.4 se describe las partes que involucran el Estudio y Transmisor

### 2.2.2.1 ESTUDIO[18]

El estudio comprende todas las fuentes de audio y sonido (micrófonos, reproductores de audio, teléfono, etc.) el Proveedor de Contenido & Control y el Servidor de Contenido

El Proveedor de Contenido & Control administra y controla las fuentes de sonido y audio, para tenerles listas para enviarlas al Servidor de Contenido, en este bloque se hacen arreglos de señal, mezclas, etc., las salidas pueden ser digitales o analógicas.

Respecto al Servidor de Contenido podemos ver que en este se encuentran los codificadores de fuente para la compresión, los cuales disponen de distintos modos de codificación, de los cuales el que aplica a emisiones simulcast es el modo CELP, para una frecuencia de muestreo de 8KHz se pueden configurar los parámetros UEP que a su vez definen la tasa de bits, este modo ofrece una calidad razonable y robustez.

Otro elemento importante dentro del Servidor de Contenido el multiplex DRM que definen los canales necesarios con hasta cuatro opciones de servicio configurables.

También dentro del Servidor de Contenido se tiene todo el sistema de digitalización de la señal como los conversores A/D para cuando la entrada de la información es analógica.

El Servidor de Contenido constituye un equipo ensamblado disponible en el mercado y dispone de un multiplexor el cual genera un solo flujo de bits producto de todos los canales del multiplex DRM a través de un protocolo DCP para poderlos poner en el medio de transmisión que conforma el enlace al transmisor.

### 2.2.2.2. TRANSMISOR [18]

El transmisor define su nombre a todo el conjunto de equipos ubicados lejos del Estudio, en este caso en un cerro. Está constituido por el Modulador, el Transmisor y el Sistema radiante.

El Modulador se encarga de hacer todo el proceso COFDM, es decir usa la técnica OFDM pero de información previamente codificada para añadir redundancia, dentro de la técnica OFDM se usan subportadoras espaciadas ortogonalmente cuyo número dependerá del modo de robustez y ancho de banda configurado.

El Modulador define el tipo de constelación utilizado (n-QAM), considerando que un n alto define mayor capacidad y un n bajo mayor robustez, estas consideraciones se las aplica a los canales de acuerdo a su naturaleza y de acuerdo a la configuración adoptada, esto influirá además en la SNR, en los tiempos de cada símbolo, en los tiempos de guarda, niveles de protección frente a errores, etc.

El Modulador es un equipo disponible en el mercado, el cual incluye la opción de transmisión simulcast, también tiene funciones automáticas de pre-ecualización con el objeto de reducir las influencias de las distorsiones lineales y no lineales del sistema.

El transmisor por otro lado completa la adaptación última de la señal antes de colocarla en el medio de transmisión a través del sistema radiante, esto involucra la etapa de amplificación de potencia

También está el sistema radiante que comprende todo el sistema de antenas, del cual debe considerarse el ancho de banda y las características de radiación para garantizar la cobertura de diseño.

### 2.2.3 EQUIPOS[2], [19], [20] y [21]

En la Figura 2.4 se observa que los diagramas de bloques hacen una distinción entre Servidor de Contenido, Modulador y Transmisor, generalmente estos constituyen tres equipos distintos en el mercado, aunque dependiendo del fabricante puede estar el Transmisor y el Modulador ensamblado en un solo equipo.

Ahora se exponen algunos ejemplares correspondientes a distintos fabricantes para compararlos y desde el punto de vista técnico se escogerá una marca; cabe aclarar que dentro de todo el sistema existen equipos y elementos adicionales que permiten completar el sistema tal cual se propone, esto es, equipos correspondientes al enlace estudio transmisor, sistemas radiantes, etc., estos elementos adicionales se los escoge posterior al cálculo de enlace y cobertura.

Dentro de las marcas que destacan en el mercado y que ofrecen una solución de equipos DRM tenemos<sup>1</sup>:

- **TRANSRADIO** (antes TELEFUNKEN).- Es miembro fundador del Consorcio DRM y dada su posición representa una marca garantizada como opción DRM, además de tener instalados muchos sistemas DRM en el mundo.
- **FRAUNHOFER**.- Es además un Instituto de circuitos integrados, tiene en el mercado casi 30 años de desarrollo de sistemas y dispositivos electrónicos, y es donde el estándar MP3 nació, dispone de una buena solución DRM.
- **DIGIDIA**.- Es una marca inglesa dedicada exclusivamente a difusión digital, concentración que garantiza calidad en la opción DRM.
- **HARRIS CORPORATION**.- La marca existe desde 1922 y ha sido reconocida en muchas ocasiones, ha sido pionera en sistemas analógicos y ahora dispone de solución DRM de buena calidad.

---

<sup>1</sup> Las sugerencias de marcas están tomadas de la página web del Consorcio DRM ([www.drm.org](http://www.drm.org)).

Estos fabricantes son principalmente los que han estado al frente en desarrollo de tecnología DRM, además de ser marcas con experiencia en el mundo de la radiodifusión. A continuación se hace un cuadro comparativo de las principales características DRM que ofrecen, y se mencionan servicios adicionales que cada fabricante ofrece para que sirva de consideración en la elección de la mejor opción.

Se empieza analizando el Servidor de Contenido; TRANSRADIO no dispone de este equipo por lo que las características generales analizadas a continuación son de las siguientes marcas: FRAUNHOFER, DIGIDIA y HARRIS (Tabla 2.7).

PARÁMETRO	FRAUNHOFER	DIGIDIA	HARRIS
Codificación AAC, HVXC y CELP	Si	Si	Si
Frecuencias de muestreo de 8, 12, 16, 24, 48KHz	Si	No*	No**
Modos de robustez A, B, C y D	Si	Si	Si
Anchos de banda de 4.5, 5, 9, 10, 18 y 20KHz	Si	Si	Si
MSC con modos 16-QAM y 64-QAM	Si	Si	Si
SDC con modos 4-QAM y 16-QAM	Si	Si	Si
EEP y UEP	Si	Si	Si
Protocolo MDI/DCP	Si	Si	Si
Soporta SFN	Si	Si	Si
Sonido monofónico, estéreo, estéreo paramétrico	Si	Si	Si
Administración, configuración y provisión de datos remota por Ethernet	Si	Si	Si
Tratamiento digital de audio AES/EBU <sup>1</sup>	Si	Si	Si
Configuración y monitoreo remoto vía web	Si	Si	Si
Producto personalizable	No	Si	Si
Display de configuración	Si	No	No
Tamaño	Grande	Pequeño	Pequeño
Costo	Elevado	Medio	Medio

<sup>1</sup> AES/EBU es una interfaz de comunicación pensada para transmitir en tiempo real señales digitales de audio.

PARÁMETRO	FRAUNHOFER	DIGIDIA	HARRIS
*No dispone de frecuencia de 48KHz **No dispone de las frecuencias 8, 16 y 48KHz			

Tabla 2.7: Comparación de Servidores de Contenido DRM

La Tabla 2.8 expone algunas características de los Servidores de Contenido diferentes a cada fabricante.

MARCA	CARACTERÍSTICA
FRAUNHOFER	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre del equipo: ContentServer™ R5</li> <li>• Puede alimentar simultáneamente a varios Moduladores a la vez.</li> <li>• Software basado en Linux.</li> <li>• Codificación en tiempo real de hasta 4 flujos de audio en paralelo.</li> <li>• Procesa audio digital y analógico en vivo, voz sobre IP, archivos MP3, WAV.</li> <li>• Codificación AAC, HVXC y CELP con SBR</li> <li>• Sonido 5.1 envolvente.</li> <li>• Aplicaciones de datos como: mensajes de texto, noticias, guía electrónica de programación, canal de mensajes de tráfico, servicios de lenguaje, tipo de programa, alertas, emergencias, hora, fecha.</li> <li>• Puede ligarse a sistemas AM, FM, FM-RDS, DAB.</li> <li>• Puede conectarse en redundancia con otro Servidor de Contenido.</li> <li>• Opción de grabación de señal de salida.</li> <li>• Monitoreo en vivo de señal a través de web.</li> <li>• Configuración de amplificación de audio.</li> <li>• Detección y recorte de silencios para todas las entradas de audio.</li> <li>• Firewall de seguridad.</li> <li>• Informe de estado de sistema a través de correo electrónico.</li> <li>• Sistema de copia de seguridad y mecanismo de reconfiguración remoto y local.</li> <li>• UPS para fuente de alimentación ininterrumpida.</li> <li>• Administración también puede hacerse por Modem telefónico</li> <li>• Display para configuraciones locales.</li> <li>• GPS para sincronización de SFN.</li> <li>• Consume más de 4 unidades de rack</li> </ul>
DIGIDIA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre del equipo: ALTO DRM ContentServer.</li> <li>• Alarma de informes a través de SNMP<sup>1</sup>.</li> </ul>

<sup>1</sup> SNMP es un protocolo de la capa de aplicación que facilita el intercambio de información de administración entre dispositivos de red

MARCA	CARACTERÍSTICA
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producto personalizable a petición.</li> <li>• Consume 2 unidades de rack.</li> <li>• Sistema basado el Windows.</li> <li>• GPS para sincronización de SFN disponible en un módulo externo.</li> <li>• 1 entrada analógica o digital de audio.</li> <li>• 3 entradas analógicas auxiliares.</li> <li>• Codificación AAC, ACC con SBR, HVXC y CELP</li> <li>• Transferencia de objetos multimedia, mensajes de texto.</li> <li>• No tiene display el equipo.</li> </ul>
HARRIS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre del equipo: Content Server Product DRM-CSB 100</li> <li>• 1 servicio de audio.</li> <li>• Codificación AAC, ACC con SBR, HVXC y CELP.</li> <li>• Procesa audio en vivo y archivos WAV.</li> <li>• Basado en Linux.</li> <li>• Consume 2 unidades de rack.</li> <li>• UPS para alimentación ininterrumpida.</li> <li>• Teclado, monitor y ratón externos para configuración local.</li> </ul>

Tabla 2.8: Características para Servidor de Contenido[19], [20] y [21].

LaTabla 2.9nos indica los equipos Servidores de Contenido con sus correspondientes fabricantes.

FRAUNHOFER	
DIGIDIA	
HARRIS	

Tabla 2.9: Imágenes de Servidores de Contenido [19], [20] y [21].

Dadas las características de estos equipos podemos ver que la marca FRAUNHOFER ofrece muchas más prestaciones y complementos que las otras marcas por lo que la comodidad y opciones que se puede tener con esta marca es muy diversa, las aplicaciones optimas de esta marca serian redes complejas y con proyecciones futuras largas y escalabilidad importante, por otro lado las marcas DIGIDIA y HARRIS nos ofrecen características básicas y suficientes para un sistema DRM naciente, e incluso dentro de estas marcas DIGIDIA nos da la opción de usar módulos externos para la diversificación de la red, la complejidad del equipo influye en el precio, poniendo a esta marca en un punto medio en el sentido económico pero sobresaliendo en el sentido de flexibilidad en un posible diversificación futura, dado esto la marca recomendada para Servidor de Contenido es DIGIDIA.

Ahora se comparan Moduladores y dentro de estos las características principales para los fabricantes TRANSRADIO, DIGIDIA Y HARRIS son (Tabla 2.10):

PARÁMETRO	TRANSRADIO	DIGIDIA	HARRIS
Manejo de canales FAC, SDC y MSC.	Si	Si	Si
Modos de robustez A, B, C y D.	Si	Si	Si
MSC con modos 64-QAM y 16-QAM.	Si	Si	Si
SDC con modos 16-QAM y 4-QAM.	Si	Si	Si
Anchos de banda de 4.5, 5, 9, 10, 18 y 20KHz.	Si	Si	Si
Procesos de intercalado corto y largo.	Si	Si	Si
EEP y UEP.	Si	Si	Si
Opción para MFN y SFN con GPS para sincronización	Si	No*	Si
Entrada MDI con Ethernet.	Si	Si	Si
Display de configuración	Si	Si	No
*Opción aplicable con módulos externos			

Tabla 2.10: Comparación de Moduladores DRM.

La Tabla 2.11 expone algunas características de los Moduladores diferentes a cada fabricante.



MARCA	CARACTERÍSTICA
TRANSRADIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre DRM DMOD3</li> <li>• Compatible con cualquier tipo de transmisor.</li> <li>• Consume 4 unidades de rack.</li> <li>• Procedimientos de automatización altamente automatizados.</li> <li>• Diseño, compacto, bajo consumo de energía.</li> <li>• Opción simulcast y DRM puro.</li> <li>• Ecuador automático y tensión de antena integrada.</li> <li>• No necesita procesador RF.</li> <li>• Conversión rápida entre modos de operación.</li> <li>• Display de configuración de 8,4".</li> <li>• Muestra mediciones de VSWR<sup>1</sup> en la pantalla sin necesidad de equipos de medidas externos.</li> <li>• Genera visualización y muestra del espectro por servidor web.</li> <li>• Opción de trabajar con respaldo conectado.</li> <li>• Acceso remoto por web.</li> <li>• Basado en Linux.</li> <li>• Modulación jerárquica y estándar.</li> <li>• Rango sintonizable de 9KHz a 26.1MHz.</li> <li>• Voltaje VPP de 5 voltios y resistencia de 50Ω.</li> <li>• Frecuencia de muestreo de 192KHz.</li> </ul>
DIGIDIA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre SOPRANO DRM Modulator</li> <li>• Consume 1 unidad de rack.</li> <li>• Fuente de alimentación de rango automático.</li> <li>• Display LCD para configuraciones básicas.</li> <li>• Jerarquía simétrica y jerarquía mixta de constelaciones y mapeo.</li> <li>• EEP y UEP con tasas desde 1/4 a 8/9.</li> <li>• Soporte simulcast AM/DRM.</li> <li>• Soporte de reconfiguración dinámica.</li> <li>• Precorrector digital incluido.</li> <li>• Amplitud digital Q/I</li> <li>• Rango sintonizable 148.5KHz a 27MHz.</li> </ul>
HARRIS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre DRM-MOD 100 Broadcast Radio DRM Modulator.</li> <li>• Facilita la transición análogo-digital a través de comandos del servidor de contenido.</li> <li>• Conecta con el servidor de contenido localmente con RS-232 o remotamente por Ethernet.</li> <li>• Operación dual para cambiar opciones de operación DRM y analógico.</li> <li>• Cambio inmediato a modo analógico cuando señal DRM cae.</li> <li>• Compatible con cualquier servidor de contenido.</li> </ul>

<sup>1</sup> VSWR es la relación de onda estacionaria en voltios y mide la energía reflejada consecuencia del acoplamiento.

MARCA	CARACTERÍSTICA
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango sintonizable de 500KHz a 1.7MHz.</li> <li>• Tolerancia de error +/- 1Hz usando GPS.</li> <li>• Dos puertos seriales (estándar y fibra) y puerto Ethernet.</li> <li>• Tasa de datos del puerto serial de 38.4Kbaudios.</li> <li>• Consume 2 unidades de rack.</li> </ul>

Tabla 2.11: Características para Moduladores [19], [20] y [21].

La Tabla 2.12 nos indica los equipos Moduladores con sus correspondientes fabricantes.

FRAUNHOFER	
DIGIDIA	
HARRIS	

Tabla 2.12: Imágenes de Moduladores [19], [20] y [21].

De entre los Moduladores podemos ver que el fabricante FRAUNHOFER ofrece características orientadas a una mayor automatización del sistema, proyectándose a un sistema configurable y bastante independientes, lo que significa que aplica más eficientemente a sistemas grandes donde las herramientas y opciones que ofrece facilitan la administración y monitoreo, esta características es evidente incluso en el aspecto físico del equipo; por otro lado las marcas DIGIDIA y HARRIS son equipos con todas la características DRM y diseño sencillo óptimo para sistemas pequeños,

entre estos, la marca HARRIS no detalla nada respecto a difusión simulcast, por lo que la elección se inclina hacia la marca DIGIDIA.

La comparación de equipos termina con el Transmisor, respecto a estas características generales de los fabricantes TRANSRADIO, DIGIDIA Y HARRIS son (Tabla 2.13):

PARÁMETRO	TRANSRADIO	DIGIDIA	HARRIS
Entrada MDI.	Si	Si	Si
Incluye todos los parámetros DRM.	Si	Si	Si
Opción de SNF con GPS incluido.	Si	Si	Si
Asistencia por web para control remoto.	Si	Si	Si
50 $\Omega$ de impedancia de salida.	Si	Si	Si
Aplica a potencia de diseño	No	Si	No

Tabla 2.13: Comparación de Transmisores DRM

La Tabla 2.14 expone algunas características de los Transmisores diferentes a cada fabricante.

MARCA	CARACTERÍSTICA
TRANSRADIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre TRAM X (X va de 5 a 600).</li> <li>• Son un conjunto de transmisores que varían entre ellos de acuerdo a la potencia de salida.</li> <li>• Tiene modo de ahorro de energía.</li> <li>• Diseño compacto y de fácil mantenimiento.</li> <li>• Diseño modular de los amplificadores de potencia, con módulos de 1kW.</li> <li>• Aplica para onda media.</li> <li>• Transmisores refrigerados por aire reciclado.</li> <li>• Opción de ajuste a la frecuencia de operación deseada.</li> <li>• Robusto con estabilidad mecánica.</li> <li>• Opción de combinación de transmisores en paralelo.</li> <li>• Aplica a DRM y otros estándares.</li> <li>• Transmisores con salidas de potencia entre 5 y 600kW.</li> <li>• Reducción de potencia automático.</li> <li>• Modulación por duración de pulso (PDM).</li> <li>• Error de 5Hz con sincronización interna o externa.</li> <li>• Impedancia de salida de 50<math>\Omega</math> desbalanceado y 600<math>\Omega</math> balanceado.</li> </ul>

MARCA	CARACTERÍSTICA
DIGIDIA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre OPUS DRM Transmitter.</li> <li>• Consume 10 unidades de rack.</li> <li>• Potencia típica de 250W.</li> <li>• Amplificadores en base a Mosfet clase A y AB.</li> <li>• Incluye pre-corrección interna.</li> <li>• Pantalla LCD para configuración.</li> <li>• Reporte de alarma por SNMP.</li> <li>• Refrigeración con aire.</li> </ul>
HARRIS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DAX™ AM/HD/DRM Transmitter Family.</li> <li>• Rango de potencia de salida entre 1 y 6kW.</li> <li>• Aplica a DRM y otros estándares.</li> <li>• Consume 16 unidades de rack.</li> <li>• Interfaz de usuario inteligente diseñado para la transmisión de baja potencia.</li> <li>• Integra un GPS para sincronización.</li> <li>• Aplica a onda media.</li> <li>• Variación de voltaje de 5%</li> <li>• Error de frecuencia de +/-3Hz.</li> </ul>

Tabla 2.14: Características para Transmisores [19], [20] y [21].

La Tabla 2.15 indica los equipos Transmisores con sus correspondientes fabricantes.

FRAUNHOFER	
DIGIDIA	

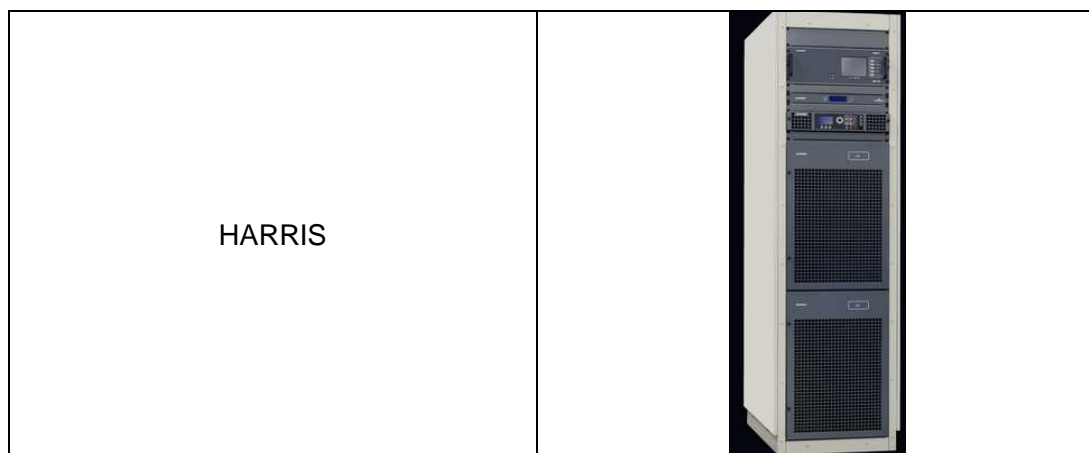


Tabla 2.15: Imágenes de Transmisores [19], [20] y [21].

Los Transmisores son independientes de un estándar en particular, salvo algunas características que varían, incluso transmisores analógicos pueden ser adaptados para que funcionen en transmisión digital haciendo algunas modificaciones, en función del nivel de potencia necesario para el sistema que se plantea tenemos que FRAUNHOFER ofrece una variedad de opciones que van entre 5 y 600kW, al cual le sigue HARRIS con un rango entre 1 y 6kW, mientras que DIGIDIA plantea un valor fijo de potencia de salida de 250W, valor que está dentro del rango necesario para el sistema que se está diseñando por lo que escogemos DIGIDIA.

#### **2.2.4 ENLACE Y COBERTURA[22], [23] y [24]**

El enlace Estudio – Transmisor está destinado a llevar la información saliente del Estudio, generalmente en este están todas las fuentes de audio y el Servidor de Contenido, y en el Transmisor están el Modulador, la etapa de amplificación y el sistema de antenas.

La frecuencia auxiliar adoptada para el enlace microonda es 2310MHz dentro del rango de 2310 – 2360MHz indicadas en el Plan Nacional de Distribución de Frecuencias, considerando esto tenemos ejemplos de equipos transmisores y receptores de radioenlaces, para ello debemos además analizar la tasa de bits de salida del Servidor de Contenido para buscar un equipo transmisor que soporte.

Ahora se va a exponer el procedimiento y un ejemplo para el cálculo de un enlace, previo al cálculo se debe primero identificar la mejor ubicación del Estudio y del Transmisor cumpliendo características de accesibilidad al sitio, disponibilidad de energía eléctrica, establecer línea de vista entre los sistemas de antenas que constituyen dicho enlace, respecto a la ubicación del transmisor los lugares típicos son algunos de las elevaciones que bordean la ciudad, entre estas están el Cerro Pichincha, Ilumbisí, Puengasí, Atacazo, cima de la Libertad, etc. El cerro Pichincha alberga el 90% de transmisores de Quito.

Para el diseño se va a asumir que el Estudio está ubicado en el séptimo piso del edificio de Química-Eléctrica de la Facultad de Eléctrica y Electrónica, de la EPN, y el Transmisor está ubicado en el Cerro Pichincha, para hacer los cálculos necesarios se debe tener un perfil topográfico entre Estudio y Transmisor para analizar posibles obstáculos, las coordenadas geográficas de los lugares son las siguientes:

- Estudio → Latitud:  $0^{\circ} 12' 34''$  S                      Longitud:  $78^{\circ} 29' 20.91''$  O
- Transmisor → Latitud:  $0^{\circ} 10' 1.31''$  S                      Longitud:  $78^{\circ} 31' 27.24''$  O

El perfil topográfico entre Estudio y Transmisor se obtiene con el software de simulación de radiopropagación Radio Mobile, dadas las condiciones geográficas de Quito generalmente los enlaces no tienen obstáculos importantes, esto se puede ver en la Figura 2.5.

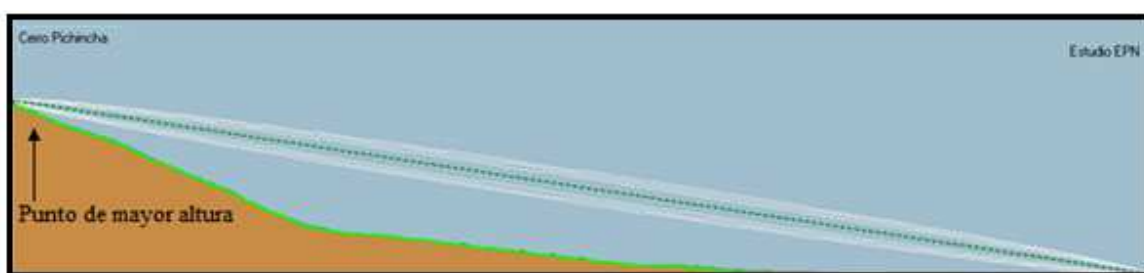


Figura 2.5: Perfil topográfico Estudio – Transmisor.

Dentro de los cálculos necesarios que se necesitan para definir un radio enlace son los siguientes:

- Zona de Fresnel.
- Cálculo del margen de despeje.
- Altura de la antena.
- Pérdida de trayectoria por espacio libre.
- Potencia transmisión.
- Margen de desvanecimiento y margen umbral.

La zona de Fresnel tiene que ver con el fenómeno de difracción<sup>1</sup> producido por los obstáculos que actúan como una segunda fuente, esta nueva señal se suman con la original, el volumen donde la suma de estas señales es constructiva se llama zona de Fresnel, este volumen dibuja una elipsoide.

Debido al fenómeno de difracción que un obstáculo produce puede generarse una segunda señal en recepción que se cancele con la original y producir de esta manera desvanecimiento de la señal, estos efectos perjudiciales se reducen asegurando que el obstáculo no obstruya en al menos un 60% de la primera zona de Fresnel, lo ideal sería tener despejada al 100% esta zona.

La n-ésima zona de Fresnel se calcula en función de un punto entre el transmisor y el receptor, la primera zona de Fresnel (n=1) concentra el 50% de la potencia de la señal, por lo que se debe tener mucho cuidado con esta zona, la fórmula es la siguiente:

$$h_o = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d}} \quad (2.1)[23]$$

---

<sup>1</sup> Desviación de trayectoria que experimenta una onda electromagnética al encontrarse con un obstáculo.

Donde:

- $n$  = n-ésima zona de Fresnel ( $n=1, 3, 5,..$ )
- $d_1$  = Distancia desde el punto 1 (TX) hasta el obstáculo en metros.
- $d_2$  = Distancia desde el punto 2 (RX) hasta el obstáculo en metros.
- $d$  = Distancia total del enlace.
- $\lambda$  = Longitud de onda de la señal.
- $h_o$  = Radio de la zona de Fresnel.

La longitud de onda está dado por la expresión  $\lambda = \frac{c}{f}$  donde  $c$  es la velocidad de la luz ( $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ) y  $f$  es la frecuencia del radioenlace. La Figura 2.6 muestra estos parámetros.

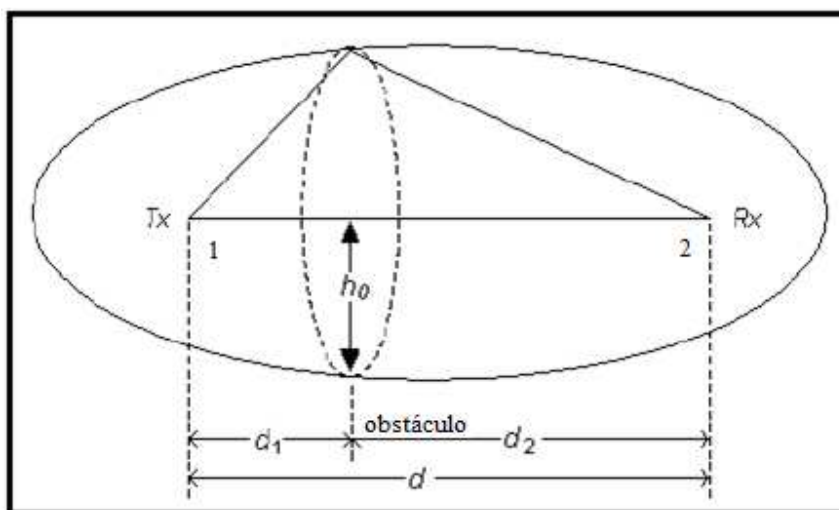


Figura 2.6: Primera zona de Fresnel.

En el perfil topográfico de la Figura 2.5 obtenido con el software Radio Mobile se puede identificar 6120m de distancia; para el cálculo del radio de la zona de Fresnel (Ecuación 2.1) se lo va a hacer cada 300m con ayuda de Microsoft Excel cuyos resultados se presentan en la Tabla 2.16.



$d_1$ [m]	$d_2$ [m]	$h_0$ [m]		$d_1$ [m]	$d_2$ [m]	$h_0$ [m]
5820	300	6,09		2820	3300	14,05
5520	600	8,38		2520	3600	13,87
5220	900	9,98		2220	3900	13,55
4920	1200	11,19		1920	4200	13,08
4620	1500	12,13		1620	4500	12,44
4320	1800	12,85		1320	4800	11,60
4020	2100	13,38		1020	5100	10,51
3720	2400	13,76		720	5400	9,08
3420	2700	14,00		420	5700	7,13
3120	3000	14,09		120	6000	3,91

Tabla 2.16: Cálculo de la primera zona de Fresnel.

Respecto a la altura de la antena debemos saber que podemos obtener la altura de una de ellas asumiendo la otra y usando el valor de la primera zona de Fresnel, la expresión es la siguiente:

$$h_2 \geq \frac{d}{d_1} (h_0 + H) - \frac{d_2}{d_1} (h_1) + \frac{dd_2}{2kr} (2.2)[23]$$

Donde:

- $k$  = Coeficiente de radio efectivo de la Tierra.
- $r$  = Radio de la Tierra.
- $H$  = Altura del obstáculo en metros.
- $h_0$  = Radio de la primera zona de Fresnel.
- $h_1$  = Altura de la antena en el punto 1 en metros.
- $h_2$  = Altura de la antena en el punto 2 en metros.

Adicionalmente a la curvatura de la tierra existe una trayectoria curva debido a la estratificación de la troposfera, lo que produce diferentes condiciones de humedad y temperatura según varía la altura, parámetros que influyen en el comportamiento de las ondas electromagnéticas, la constante  $k$  es un artificio que permite entender al

problema como si la trayectoria del rayo fuera rectilínea[22], los valores de k para distintas condiciones se muestran en la Tabla 2.17.

En zonas polares	$k = 6/5 \cong 4/3$
En zonas templadas	$k = 4/3$
En zonas tropicales	$k = 4/3 \cong 3/2$

Tabla 2.17: Variación del factor k[22]

De esta tabla sabemos que las condiciones que rigen el diseño es  $k = 4/3$

Con respecto al concepto de altura de antenas debemos tener el dato de una de ellas, y esta será la correspondiente al lado del Estudio, como asumimos que estará ubicado en el séptimo piso del edificio Química-Eléctrica y la antena en la terraza de mismo; tenemos 7 pisos hasta la terraza, con un promedio de 4 metros por piso dando como resultado 28 metros, valor que ajustaremos en 30 metros con una estructura, como el perfil topográfico no considera posibles obstáculos como edificios, lo que se hizo es observar mediante un largavistasel despeje de línea de vista apuntando al cerro Pichincha, para el cálculo de la altura de la antena se puede ver (Ecuación 2.2) que está en función del obstáculo pero como en el diseño no interviene obstáculo alguno, asumimos una altura de 30 metros, asumiendo el valor de torres de antenas construibles.

El margen de despeje es necesario para garantizar línea de vista en función de los posibles obstáculos, nos ayuda a calcular la distancia entre el obstáculo más grande y la línea central del trayecto, este cálculo se concentra sobre el obstáculo más crítico es decir, sobre aquel que puede afectar la zona de Fresnel. El análisis del resultado se lo hace comparando el margen de despeje sobre el obstáculo con el radio de la primera zona de Frenel, la fórmula que calcula el margen de despeje está dada en metros y se calcula de la siguiente manera:

$$h(\text{despeje}) = h_1 + \frac{d_1}{d}(h_2 - h_1) - \left(H + \frac{d_1 d_2}{2kr}\right) \quad (2.3)[23]$$

Para este cálculo vamos a tomar las mismas distancias fijadas para la zona de Fresnel, consideramos la altura del obstáculo de (H=0); Tabla 2.18.

$d_1$ [m]	$d_2$ [m]	$h(des)$ [m]		$d_1$ [m]	$d_2$ [m]	$h(des)$ [m]
5820	300	30,10		2820	3300	30,55
5520	600	30,19		2520	3600	30,53
5220	900	30,28		2220	3900	30,51
4920	1200	30,35		1920	4200	30,47
4620	1500	30,41		1620	4500	30,43
4320	1800	30,46		1320	4800	30,37
4020	2100	30,50		1020	5100	30,31
3720	2400	30,53		720	5400	30,23
3420	2700	30,54		420	5700	30,14
3120	3000	30,55		120	6000	30,04

Tabla 2.18: Cálculo del margen de despeje

De la Tabla 2.18 podemos mirar que el margen de despeje en todos los puntos es mayor que el radio de la zona de Fresnel (mirar Tabla 2.17), lo que garantiza que no existe obstrucción de obstáculos, resultado evidente en el gráfico de la topología.

La potencia en recepción está dada de la siguiente manera:

$$P_{rx} = \frac{P_{tx} G_{tx} G_{rx} \lambda^2}{16\pi d^2} \quad (2.4)[24]$$

Donde:

- $P_{rx}$  = Potencia de recepción.
- $P_{tx}$  = Potencia de transmisión.
- $G_{rx}$  = Ganancia de recepción.
- $G_{tx}$  = Ganancia de transmisión.

Todo parámetro diferente a potencia y ganancia se lo define como pérdidas de trayectoria por espacio libre, para entenderlo mejor se expresa en logaritmos:

$$P_{rx}(dBm) = P_{tx}(dBm) + G_{tx}(dB) + G_{rx}(dB) - [20 \log(d [m]) - 20 \log(\lambda[m]) + 10 \log 16 \pi^2] \quad (2.5)[24]$$

Las pérdidas de trayectoria por espacio libre (L) miden la dispersión de la potencia en el espacio libre, en realidad no existe pérdida de energía sino que ésta se dispersa alejándose de la fuente original y organizando mejor la expresión queda de la siguiente manera:

$$L = 32,46 + 20 \log(f[MHz]) + 20 \log(d[Km]) \quad (2.6)[24]$$

Entonces la potencia nominal podríamos expresarle de la siguiente manera:

$$P_{rx}(dBm) = P_{tx}(dBm) + G_{tx}(dB) + G_{rx}(dB) - L \quad (2.7)[24]$$

Se hace un paréntesis para definir los equipos y las antenas que involucrarán el radio enlace, el cual para funcionar necesita de un Modulador/Codificador un Amplificador y lo correspondiente para recepción, sumando a estos las antenas de recepción y transmisión. Las marcas disponibles para radioenlace punto a punto digital se tiene por ejemplo las marcas SAF TEHNIKA que ofrece varios modelos para aplicaciones de datos y voz con una tasa de datos de hasta 366Mbps, modulación PSK y QAM, además de un rango de frecuencia de operación entre 3 y 38GHz [25], TRIALCOM con la Serie MDTL/MDT/MDR ofrece tipo de modulación QAM y PSK, tiene velocidad de bits programable para poder definir calidad y ancho de banda, aplican para operación analógica o digital y trabaja en un rango de frecuencia de 1,3 a 24,5GHz[26] y OMB broadcast que dispone de una velocidad de 155Mbps, dispone de modulación QPSK y QAM y un rango de frecuencia de trabajo de 4 a 38GHz [27].

El fabricante seleccionado es TRIALCOM porque la frecuencia auxiliar que se usa para el diseño está dentro de la banda de operación de este equipo microonda; este fabricante ofrece la Serie MDTL/MDT/MDR; el sistema tiene la capacidad de multiplexar la baja tasa de bits a la salida en una trama que se use en un enlace

microonda, de este rango de frecuencias fijamos la de operación en 2310MHz, la Figura 2.7 expone los equipos transmisor y receptor respectivamente.



Figura 2.7: Equipos Serie MDTL/MDT/MDR para enlace microonda.

La sensibilidad de receptor se puede apreciar en la Tabla 2.19.

Receiver noise figure	< 5 dB
Image rejection	> 70 dB
Receiver sensitivity (for B.E.R. <math>10^{-5}</math>)	< -90 dBm

Tabla 2.19: Características Receptor Serie MDTL/MDT/MDR

Entonces el valor de la potencia mínima que el receptor debe recibir para poder decodificar los datos es de -90dBm.

La potencia de transmisión está definida de acuerdo a la Tabla 2.20 la cual nos servirá para definir la potencia de transmisión en base a la sensibilidad del receptor, se escogerá modulación QAM ya que esta combina amplitud y fase para definir un símbolo, mientras que PSK solo combina fase, lo que disminuye la probabilidad de bits errados.

MDT series	FREQUENCY RANGE	RF POWER (dBm)	
		(BPSK,QPSK, 8PSK)	(16 QAM)
MDT 2/32	1.3 - 2.7 GHz	32	29
MDT 2/38	1.3 - 2.7 GHz	38	35
MDT 4/26	4.2 - 4.8 GHz	26	23
MDT 4/32	4.2 - 4.8 GHz	32	29
MDT 4/35	4.2 - 4.8 GHz	35	32
MDT 5-15/26	5.4 - 15 GHz	26	23
MDT 5-15/32	5.4 - 15 GHz	32	29

Tabla 2.20: Potencia de equipos series MDT (Transmisor)

Respecto a las antenas, consideramos una parabólica modelo AP2SR15, cuyos parámetros se expone en la Tabla 2.21y el gráfico de la antena en la Figura 2.8.[28]

Tipo de Antena:	Reflector Parabólico	Aislación Frente / Espalda:	45 dB
Diámetro:	60 Cm	Discriminación Polarización Cruzada:	32 dB
Radome:	Opcional	RCE:	20.8 dB
Modelo:	AP2SR15	Peso con Soporte:	10 Kg.
Polarización:	Simple ( V O H)	Tipo de Soporte - Hierro Galvanizado	caño diam 3" o 4"
Ganancia Extremo Sup. Banda:	37 dBi	Ajuste Azimut :	+ / - 15°
Ganancia Extremo Inf. Banda:	36.7 dBi	Ajuste Elevación:	+ / - 50°
Ganancia Medio de Banda:	36.4 dBi	Máx. Velocidad de Viento:	250 Km/ h.
Ancho del Haz:	+/- 2.4°	Terminación:	Pintura Poliuretánica
Conector:	FDR140		

Tabla 2.21: Parámetros de la antena parabólica AP2SR15

De la Tabla 2.21podemos obtener el valor de la ganancia para transmisión y recepción ya que se usan las mismas antenas en los dos extremos, el valor de ganancia es 36,4dBi



Figura 2.8: Antena parabólica AP2SR15

Ahora usamos la Ecuación 2.6 para el cálculo de las pérdidas de trayectoria por espacio libre:

$$L = 32,46 + 20 \log(f[\text{MHz}]) + 20 \log(d[\text{Km}])$$

$$L = 32,46 + 20 \log(2310) + 20 \log(6,12)$$

$$L = 115,47 \text{ dB}$$

Se consideran todas las demás pérdidas que puedan involucrar en el enlace y se van sumando a L, podemos sumar pérdidas de conectores y de cables.

Respecto a los cables los valores típicos varían entre 1dB y 0,1dB y para conectores 0,25 dB por conector [29], con estos criterios asumimos pérdidas de 1,25 dB en cada lado lo que da como pérdidas por conectores y cables de 2,5dB. Las pérdidas totales serán:

$$PÉRDIDAS = L + 2,5\text{dB} \rightarrow PÉRDIDAS = 115,47 + 2,5\text{dB}$$

$$PÉRDIDAS = 117,97\text{dB}$$

En este punto entonces ya podemos definir el parámetro correspondiente a la potencia de transmisión usando la sensibilidad como potencia de recepción.

Usando la Ecuación 2.7 despejamos  $P_{tx}$

$$P_{rx}(\text{dBm}) = P_{tx}(\text{dBm}) + G_{tx}(\text{dB}) + G_{rx}(\text{dB}) - L$$

Considerando que:  $Sensibilidad \geq P_{rx}(\text{dBm})$

$$P_{tx}(\text{dBm}) \geq Sensibilidad - G_{tx}(\text{dB}) - G_{rx}(\text{dB}) + L$$

$$P_{tx}(\text{dBm}) \geq -90\text{dBm} - 36,4\text{dBi} - 36,4\text{dBi} + 117,97\text{dB}$$

$$P_{tx}(\text{dBm}) \geq 15,17 \text{ dBm}$$

Definimos que transmisor usar, para ello vemos los datos de la Tabla 2.20, siendo el más cercano el MTD 2/32 con una potencia de transmisión de 29dBm, tomando este valor para el cálculo de la potencia de recepción tenemos:

$$P_{rx}(dBm) = 29dBm + 36,4dBi + 36,4dBi - 177,97dB$$

$$P_{rx}(dBm) = -76,17dBm$$

Por otro lado, una condición que hay que cumplir para garantizar la confiabilidad del enlace es que el valor del margen umbral debe ser mayor o igual al margen de desvanecimiento. El margen umbral está definido como la diferencia entre la potencia recibida ( $P_{rx}$ ) y la sensibilidad del equipo, y estable un rango en el cual se podría jugar a la hora de definir estos parámetros, esta expresión es la siguiente:

$$MU = P_{rx}(dBm) - \text{Sensibilidad}(dBm) \quad (2.8) [22]$$

Aplicando la Ecuación 2.8 en el diseño tenemos:

$$MU = -76,17 \text{ dBm} - (-90dBm)$$

$$MU = 13,83dBm$$

Mientras que el margen de desvanecimiento analiza la influencia que podrían generar los factores geográficos y climáticos del entorno, la expresión es la siguiente:

$$MD = 30 \log(d) + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70 \quad (2.9)[30]$$

Donde:

- MD = Margen de desvanecimiento.
- A = Factor de rugosidad del terreno.
- B = Factor Climático.
- f = Frecuencia del enlace en GHz.
- R = Confiabilidad.



R, A y B son definidas por tablas de acuerdo a características específicas las cuales se exponen en la Tabla 2.22.

Confiabilidad (R)		Rugosidad del terreno (A)		Factor Climático (B)	
Enlaces comerciales normales	99,9%	Agua o terreno muy liso	4	Áreas calientes y húmedas	0,5
Enlaces comerciales exigentes	99,99%	Terreno promedio	1	Áreas continentales	0,25
Enlaces críticos	99,999%	Terreno áspero y montañoso	0,25	Áreas secas o montañosas	0,125

Tabla 2.22: Factores R, A y B[22], [31]

Para el diseño las condiciones pueden ser: R=99,999%, A=0,25 y B=0,125, aplicando estos valores en la Ecuación 2.9 tenemos:

$$MD = 30 \log(d) + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

$$MD = 30 \log(6,12) + 10 \log[6(0,25)(0,125)(2.31)] - 10 \log(1 - 0.99999) - 70$$

$$MD = -0,031dB$$

En enlace se garantiza cumpliendo que  $MU \geq MD$ , para el diseño si cumple y tenemos:

$$MU \geq MD$$

$$13,83 \geq -0.031$$

Como ya se definió, el margen umbral (MU) representa la potencia de recepción versus la potencia necesaria del receptor, lo que establece un valor que relaciona las veces sobre las que la potencia de recepción está sobre la sensibilidad, y por otro lado el margen de desvanecimiento (MD) analiza las posibles pérdidas por terreno, clima, etc. en el presente caso se ve que el MU es aproximadamente 20 veces

(13,83dB) mayor que el MD lo que garantiza siempre disponibilidad de señal, pero por otro lado, las 20 veces de diferencia se explican al haber tomado un transmisor con una potencia mayor al valor de potencia mínima calculada.

Las antenas usadas para el enlace son directivas y en este sentido el lóbulo de radiación más importante debe necesariamente apuntar a la antena del otro extremo del enlace para garantizar la mayor concentración de energía en el sentido deseado, el parámetro que tiene que ver con esto es el Azimut<sup>1</sup>.

La Figura 2.9 nos muestra el cálculo del radioenlace usando el software Radio Mobile, este software fue desarrollado por Roger Coudé, utiliza datos de elevación de terrenos de distintas fuentes, entre estas de proyectos de la NASA y de Google Maps[32].



Figura 2.9: Cálculo de radioenlace usando Radio Mobile.

En la Figura 2.9 se puede ver que los parámetros correspondientes a las pérdidas coinciden con los calculados, podemos ver además que la peor condición de Fresnel es a una distancia de 10,4 veces el radio de la primera zona de Fresnel, es decir que un posible obstáculo está a 10.4 veces el radio en determinado punto.

Dentro de los datos mostrados por el software de simulación Radio Mobile el ángulo de elevación lo podemos calcular con la distancia y la altura de las antenas, tenemos

<sup>1</sup>Azimut un ángulo medido desde norte magnético en el sentido de las manecillas del reloj.

una distancia de 6.12Km y las alturas de 2809m y 3825m respectivamente; de esto el ángulo de elevación se muestra en la Figura 2.10.

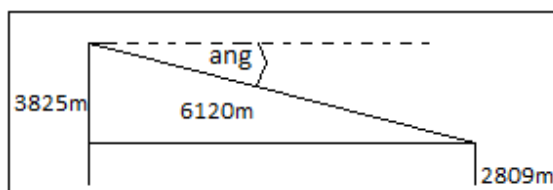


Figura 2.10: Ángulo de elevación.

Entonces el valor del ángulo es de  $9.56^\circ$  y el valor que nos muestra el software es de  $9.378^\circ$ , valor que difiere en  $0.182^\circ$ , esta diferencia corresponde a 18 m en altura o una diferencia en distancia de 115m, es un error humano que influye en la fijación de puntos exactos y posiblemente a las diferencias existentes entre los mapas que maneja Radio Mobile y Google Earth, ya que los datos son tomados de ambos.

En el caso del azimut, según el programa tenemos un ángulo de  $140.39^\circ$ , para comprobar este ángulo ubicamos el mapa con los dos puntos (Transmisor y Estudio) teniendo bien referenciado el norte y con ayuda de líneas y ángulos medimos el azimut (ángulo en grados medido a partir del norte magnético en el sentido de las manecillas de reloj y calculado desde el transmisor hacia el receptor).

El despeje tiene que ver con la distancia entre la línea de vista hasta el perfil de tierra, en el presente caso debe ser mayor que el valor de la altura de la antena, es decir mayor que 30m.

Para el nivel de Rx en dBm se usa la Ecuación 2.5 solo que a esta se agregan las pérdidas introducidas por el modelo Longley – Rice<sup>1</sup> que usa radio Mobile y para el Nivel de Rx en voltios se relaciona a través de la raíz cuadrada de la potencia de

---

<sup>1</sup> Modelo de predicción troposférica para transmisión de radio sobre terreno irregulares sobre enlaces de largo – medio alcance.

recepción con la impedancia de la antena[32].Respecto a losdemás parámetros obedecen a la influencia del modelo de propagación que usa Radio Mobile. El parámetro Rx relativo permite conocer un margen de la potencia recibida respecto a la sensibilidad del receptor.

Respecto a la predicción de cobertura para DRM no hay todavía herramientas que nos permitan obtenerla, en este sentido el Consorcio DRM está trabajando en el desarrollo de herramientas de cálculo, lo que se puede hacer es una comparación de potencia usando como referencia la radio analógica y combinando con los requerimientos de un receptor DRM y los diferentes modos de robustez y constelaciones que usa, todo esto sobre un sistema ya instalado, en sistemas teóricos podemos hacer uso de Radio Mobile pero solo como una herramienta que aporte con una idea.

En un sistema ya instalado la cobertura se define de la siguiente manera: se asume una cobertura circular de acuerdo al diseño y teniendo como centro la ubicación de la antena, posterior a esto se definen puntos sobre la circunferencia equidistantes para probar potencia de recepción y esta se analiza en función de la sensibilidad del receptor, si la sensibilidad es mucho mayor que la potencia de recepción en ese punto podríamos alejarnos de la antena y por el contrario si la potencia de recepción es menor que la sensibilidad entonces debemos acercarnos, mientras más puntos exista más exacta será el área de cobertura final definida. Para una predicción de cobertura el modelo de propagación debe analizar las características del estándar DRM como influencia en el ambiente, perfil topográfico, tipo de suelo, si es un modelo para zonas rurales, zonas urbanas, etc.

La antena usada para cobertura será la misma torre que se usa para radiodifusión AM es decir un monopolo vertical, cuya longitud debe ser de  $\lambda/4$ , esta distancia garantiza la máxima radiación posible.

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4f} = \frac{3 \times 10^8}{4(1430 \times 10^3)} = 52,45m$$

La ganancia está definida básicamente por las dimensiones de la antena, además de la conductividad de plano de la tierra, pero puede asumirse al plano de tierra como conductor perfecto y de longitud infinita, para tal caso tenemos la Tabla 2.23.

Longitud del monopolo ( $H$ )	Ganancia de potencia (dBi)
$H \ll \lambda$	4.77
$\lambda/4$	5.16
$0.311\lambda$	5.38
$\lambda/2$	6.83

Tabla 2.23: Ganancia de un monopolo vertical [33]

El valor de la sensibilidad del receptor DRM en general está en el orden de -100dBm, específicamente para el caso del módulo DRM DRT1 los parámetros se detallan en la Tabla 2.24. De estos valores tenemos un voltaje de sensibilidad de  $1,8\mu\text{V}$  para una impedancia de entrada de  $50\Omega$  lo que significa una sensibilidad de -101.88dBm.

Frequency Range:	10 KHz to 30 MHz
Input ICP3:	+13,5dBm, typ.
Noise Figure @ full gain:	14dB, typ. eq. DRM sensitivity $1,8\mu\text{V}$ true rms for 15dB SNR
Receiver Factor:	-0,5dB, typ.
Input Impedance:	50 Ohms
12 kHz IF output:	1,5Vpp, max.
Single-Supply Operation:	5V @ 220mA, typ.
8pol. Crystal Filter	45,0 MHz BW: 10 kHz
LO:	14 Bit DDS tuning steps < 1mHz
Long Time Frequency Stability:	5ppm/ 5 years
High stability of Gain Control	
Reference Voltage Output:	2,5V
Highest gain independent Linearity	
Long Lifetime due to lack of Electrolytic Capacitors	
Small geometrical Dimensions	only 72 x 57 x 8 mm
Maximum of reached DRM decoder S/N	more than 40 dB
Highest linearity supports all other modulations	like HD Radio, AM, SSB, CW, FFSK



Tabla 2.24: Parámetros técnicos unidad DRM DRT1. [34]

Para la simulación de cobertura usamos los datos mostrados en la Tabla 2.25.

PARÁMETRO	VALOR
Potencia Transmisión ( $P_{tx}$ )	200W (53.01dBm)
Potencia Recepción ( $P_{rx}$ )	-101.88dBm
Ganancia Transmisión ( $G_{tx}$ )	5.16dBi
Ganancia Recepción ( $G_{rx}$ )	14dBi
Frecuencia ( $f$ )	1430KHz

Tabla 2.25: Datos para predicción de cobertura.

Parte del proceso de configuración de una cobertura en Radio Mobile, es definir un enlace dentro del área de cobertura a simular, en este se ponen los valores de ganancia y potencia tanto para la antena transmisora como para el receptor, además de valores de pérdidas por cables y alturas de las antenas, etc. Estas configuraciones se muestran en la Figura 2.11.

The image shows two overlapping windows from the Radio Mobile software. The top window is titled 'Parámetros por defecto' and is used for configuring a network. It features a list of networks on the left, with 'Red DRM' selected. The main area contains several tabs: 'Parámetros', 'Topología', 'Miembros', 'Sistemas', and 'Estado'. The 'Parámetros' tab is active, showing fields for:
 

- Nombre de la red: Red DRM
- Frecuencia mínima (MHz): 1.430
- Frecuencia máxima (MHz): 1.430
- Polarización:  Vertical,  Horizontal
- Modo estadístico:  Intento (% de tiempo: 50),  Accidental (% de ubicaciones: 50),  Móvil (% de situaciones: 70),  Difusión
- Refractividad de la superficie (Unidades-N): 301
- Conductividad del suelo (S/m): 0.005
- Permeabilidad relativa al suelo: 15
- Clima:  Ecuatorial,  Continental sub-tropical,  Marítimo sub-tropical,  Desierto,  Continental templado,  Marítimo templado sobre la tierra,  Marítimo templado sobre el mar

 The bottom window is also titled 'Parámetros por defecto' and is used for configuring a system. It has a list of systems on the left, with 'Sistema DRM' selected. The 'Sistemas' tab is active, showing fields for:
 

- Nombre del sistema: Sistema DRM
- Potencia del Transmisor (watt): 200 (dBm: 53)
- Umbral del receptor (µV): 1.803 (dBm: -101.88)
- Pérdida de la línea (dB): 1.25 (Cable+cavidades+conectores)
- Tipo de antena: omni.ant (Ver)
- Ganancia de antena (dBi): 5.16 (dBd: 3.01)
- Altura de antena (m): 1 (Sobre el suelo)
- Pérdida adicional cable (dB/m): 0 (Si la altura de la antena difiere)

Figura 2.11: Configuraciones para la simulación de cobertura.

Posterior a esto creamos la simulación de la cobertura en la opción “Cobertura de radio polar” aquí es donde escogemos cómo será la representación gráfica con la representación de colores para los distintos niveles de potencia (Figura 2.12).

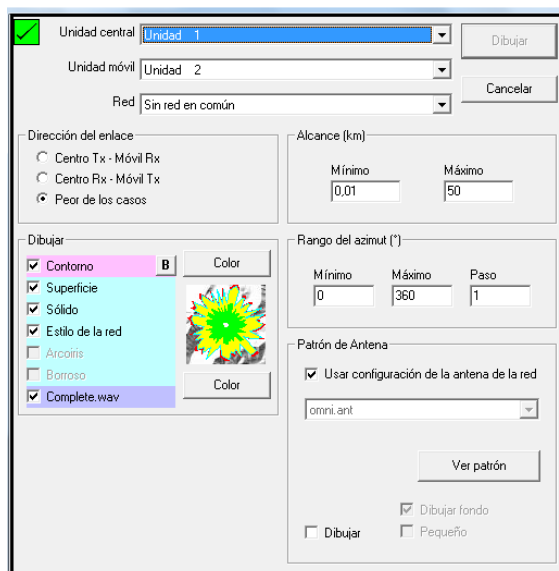


Figura 2.12: Configuración de representación gráfica de cobertura.

Con esto se define el radio de cobertura aproximado (es una predicción sin analizar las condiciones reales para DRM), la sombra de cobertura resultante se muestran en la Figura 2.13.

Respecto a las herramientas de predicción de enlaces y cobertura, no solo el Radio Mobile es el que existe, también hay el ICS-TELECOM el cual tiene licencia y permite escoger el modelo de propagación que se quiere usar, este usa la Superintendencia de Telecomunicaciones para control y monitoreo de estaciones de radiodifusión y televisión.

Usando el mismo proceso que para enlaces puntuales solo que para distintos valores de ángulos alrededor de la antena transmisora podríamos definir el radio de cobertura aproximado usando la Ecuación 2.5.

[24]

Para tal caso vemos que nos generan resultados incoherentes (distancia de 8,4 millones de Km) lo que implica que para una predicción aproximada de cobertura es necesario definir un modelo de propagación para el estándar DRM.

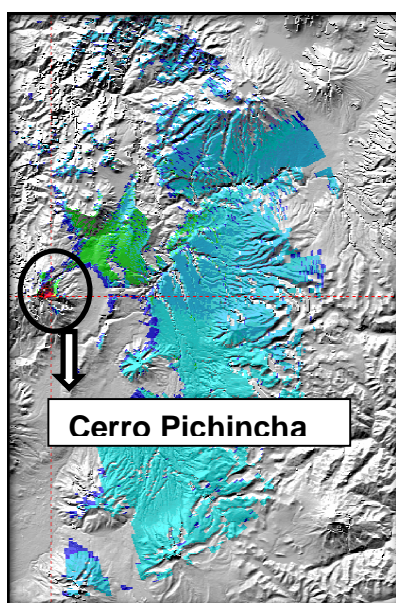


Figura 2.13: Área de cobertura simulada en Radio Mobile.



## Capítulo 3

### COMPARACIÓN DIGITAL – ANALÓGICA

Básicamente este capítulo se concentra en describir las características digitales y compararlas con las características analógicas dentro de un sistema de transmisión sonora, sistematizando todo lo que hasta este punto se describió respecto al estándar. El capítulo plantea además un esquema de redistribución del espectro radioeléctrico dentro de la banda donde opera la radiodifusión analógica en AM.

Por definición misma del concepto digital establece valores de niveles de voltaje discretos (número finito de valores), lo que en recepción es fácilmente distinguible considerando cierto margen de variación para su definición, mientras que el concepto analógico establece valores continuos (número infinito de valores) los cuales en recepción no tienen ningún parámetro de comparación para definir si son o no los correctos, estos parámetros hacen que el concepto digital establezca una mejor calidad versus el concepto analógico dentro de las comunicaciones.

El tema digital no es reciente, tiene muchos años desarrollándose; lo coyuntural en radiodifusión sonora y obviamente televisión digital es que el tramo de emisión de la señal ahora se hace de forma digital, los sistemas analógicos tienen tramos que ya hacen el procesamiento de la señal de forma digital como los enlaces, el monitoreo de información y almacenamiento del sistema, etc., lo que hace importante la convivencia entre lo analógico y lo digital.

Una comparación evidente y que resalta las ventajas digitales sobre las analógicas es la posibilidad de mejorar sustancialmente la calidad de la radiodifusión en onda media, lo que implica una reactivación de las posibilidades comerciales dentro de esta banda en el Ecuador, además de sumarse a esto los servicios de datos que se pueden tener, e incluso la optimización del espectro radioeléctrico.

Los sistemas de radiodifusión analógica AM tiene una estructura de transmisión y recepción relativamente sencilla además de económica, mientras que un sistema digital constituye todo una cadena de procesamiento digital de señales, procesos de compresión de bits para aumentar la velocidad de transmisión, redundancia, protección frente a errores para darle robustez a la señal, etc.

La relación de potencias entre un sistema de radiodifusión digital y uno analógico se diferencia en aproximadamente 7dB (según referencia de la Recomendación UIT-R BS.1615 [17]), esto significa que para garantizar una misma área de cobertura es necesario, en un sistema digital un aproximado de 5 veces menos potencia que para un sistema analógico.

La radio analógica en AM trabaja directamente con la señal de voz, la cual es modulada sobre una portadora en alta frecuencia que genera variaciones en la amplitud dependiendo las variaciones de la señal de voz; es común que a la señal se le sumen señales de ruido desde la misma fuente o durante el procesamiento, y es justamente esta señal con ruido la que se modula y se recibe, por otro lado la radio digital al tener valores discretos puede tolerar un rango de variación, la cual se le asigna determinado valor binario.

Todo el procesamiento digital del estándar DRM está concentrado básicamente en dos equipos, los cuales son configurables permitiendo definir modos de robustez, ancho de banda, tipo de modulación, relaciones de protección con sencillas modificaciones de software, además tienen soporte como almacenamiento de información, tratamiento de información digital y analógica simultánea, etc., lo que en un sistema analógico se limita a tener solo ciertos parámetros de configuración.

La radio analógica toma una sola portadora de referencia para sobre ésta modular en base a la información, mientras que la radio digital al usar la técnica OFDM usa muchas portadoras y sobre estas envía cierta parte de la información, esto trae una ventaja significativa de la radio digital sobre la analógica en el sentido de que si se pierde la portadora en el sistema analógico se pierde toda la información y en

recepción no se recibe nada mientras que en un sistema digital si se pierde una portadora no es tan crítico ya que se perdería una pequeña parte de la información, esto en audio es prácticamente indiferente para el oído humano.

Muchas de las ventajas que la radio digital posee es gracias a la técnica OFDM, ya que la robustez de la señal obedece a esta técnica, al tener múltiples portadoras el multitrayecto de estas contribuyen positivamente permitiendo generar redes de frecuencia única, esto además apoya en la optimización del espectro, resistencia a interferencias, etc.; hay que tener en cuenta que estas ventajas son logradas mediante una perfecta sincronización de los equipos, por otro lado la radio analógica no posee ninguna de estas características y es por esta razón que se define sobre todo la radio en AM con un sistema de baja calidad.

Otro de los parámetros que hacen de la radio digital más eficiente que la radio analógica tradicional es el uso de las técnicas de compresión de datos, el cual permite extraer únicamente la información esencial y eliminar redundancia.

En una radio digital, como su nombre lo indica todo el tratamiento de la señal se hace de forma digital, lo que para diseñadores y grandes fabricantes es indispensable un conocimiento profundo en cuanto a procesamiento digital de señales, e incluso si comparamos con la radio analógica podemos darnos cuenta que determinados tramos de toda la cadena de transmisión ya maneja información digitalizada, por ejemplo los enlaces microonda.

La radio analógica en AM tiene la característica de ser muy susceptible al ruido externo, esto es por ejemplo el accionamiento de motores, las tormentas, etc.; con la radio digital se puede superar estos inconvenientes maximizando mucho la calidad del sistema.

Respecto al estándar DRM al ser un estándar no propietario hay muchos fabricantes y organismos que lo están desarrollando, teniendo diversos resultados por ejemplo

tarjetas receptoras de señal DRM para computadoras de escritorio con su respectivo interfaz de utilización y configuración.

### 3.1 REDISTRIBUCIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO [16]

La redistribución se la plantea sobre la banda del espectro radioeléctrico donde opera la radiodifusión en Amplitud Modulada; en general una redistribución del espectro podría considerarse como innecesario ya que el estándar DRM30 fue diseñado para operar bajo las mismas características que la radio AM actual, las consideraciones de redistribución si fueran necesarias partirían cuando se tenga el apagón analógico y considerando por ejemplo criterios como: mejor utilización del espectro, mayor número de estaciones, potencia de transmisión de las estaciones, calidad de audio, etc.

Respeto a la asignación actual del espectro para radiodifusión en Onda Media tenemos según el Plan Nacional de Frecuencias [16], que la transmisión en Onda Media corresponde a la banda número 6, está definida de 300 a 3000KHz, llamadas también ondas hectométricas, todo el planeta para una mejor asignación del espectro está dividido en regiones, donde el Ecuador es parte de la región 2 junto con todo el continente americano, podemos ver esto en la Figura 3.1.

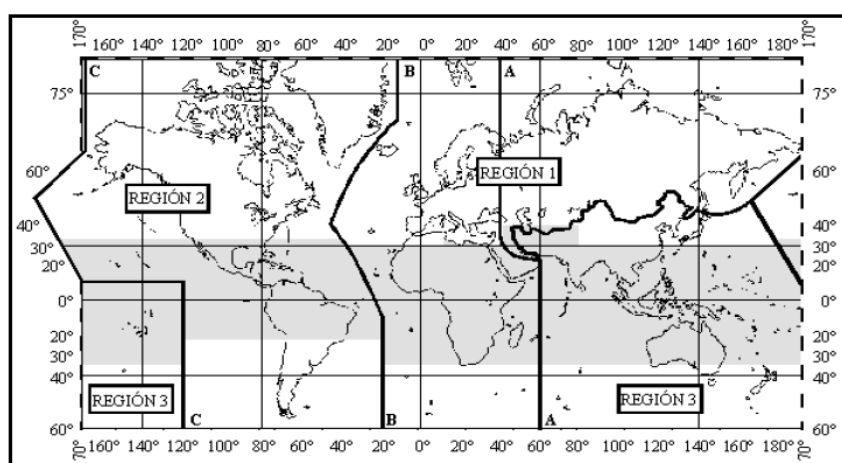


Figura 3.1: Atribución de las bandas de frecuencia establecida por regiones.

Estas atribuciones y características de asignación de bandas por regiones fueron asignadas por la UIT, dentro de la cual el Ecuador ha adoptado propios parámetros, pero que usa como base lo recomendado por la UIT, dentro de esto y con aplicaciones para radiodifusión según la región 2 a la que pertenecemos tenemos que la banda 525 – 535KHz está asignada para Radiodifusión 5.86<sup>1</sup> y Radionavegación Aeronáutica, donde el Ecuador asigna esta banda solo para Radiodifusión, las bandas 535 – 1605KHz, 1605 – 1625KHz y 1625 - 1705 el Ecuador asigna también para Radiodifusión sonora[16].

La canalización asignada para la radiodifusión en Amplitud Modulada en el Ecuador está dada según la Figura 3.2.

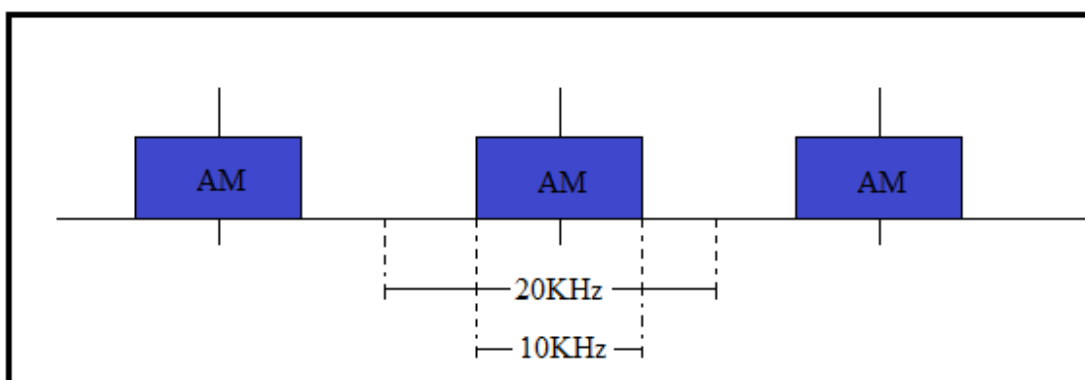


Figura 3.2: Canalización actual para AM.

Una vez definidas las bandas sobre la que la actual radiodifusión AM opera, el ancho de banda asignado es de 10KHz con una canalización de 20KHz lo que da un rango de separación entre canales de 10KHz, entonces debemos dividir el ancho total dividido para el valor del canal, esto es:

$$No. canales = \frac{1705KHz - 535KHz}{20KHz} = 58$$

---

<sup>1</sup>5.86 define la potencia de la portadora y manifiesta que no debe exceder de 1kW en el día y 250W en la noche.

Es decir tenemos un total de 58 canales.

Para aplicaciones simulcast de un sistema de transición puede mantenerse la canalización actual manteniendo características de radio DRM básicas debido al ancho de banda que dispondría, es decir 5KHz para difusión analógica y 5KHz para difusión digital, en esta configuración se debe filtrar una banda lateral de la difusión analógica, esto es posible debido a que según el estándar analógico la información llega por duplicada en dos bandas, lo que aquí se agrega es un correcto filtrado de la información, esto se puede observar en la Figura 3.3.

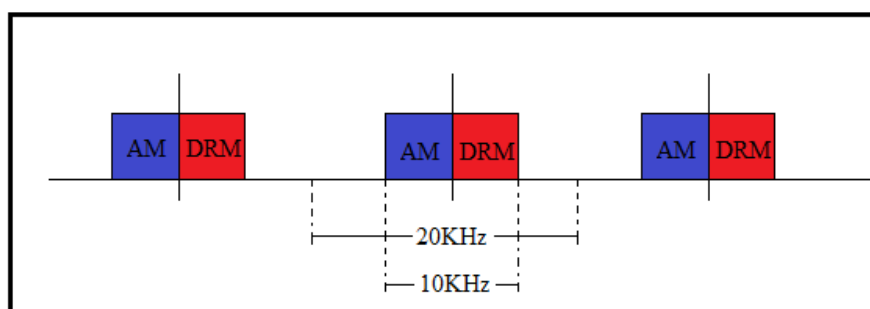


Figura 3.3: Canalización simulcast con 5KHz AM y 5KHz DRM

Otra opción simulcast y manteniendo la canalización de 20KHz puede ser mantener la doble banda en la emisión analógica en 10KHz y agregar una emisión digital de 5KHz, para esto se debe tener mucho cuidado con la interferencia que pueda generarse al canal adyacente, (Figura 3.4).

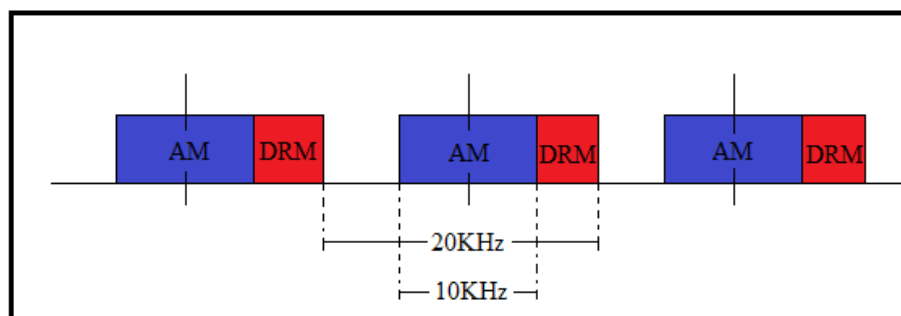


Figura 3.4: Canalización simulcast con 10KHz AM y 5KHz DRM

Con la misma canalización podemos plantear un ancho de banda de 10KHz y un canal de 20KHz el cual permite disfrutar de las ventajas digitales que ofrece el estándar, esto se muestra en la Figura 3.5.

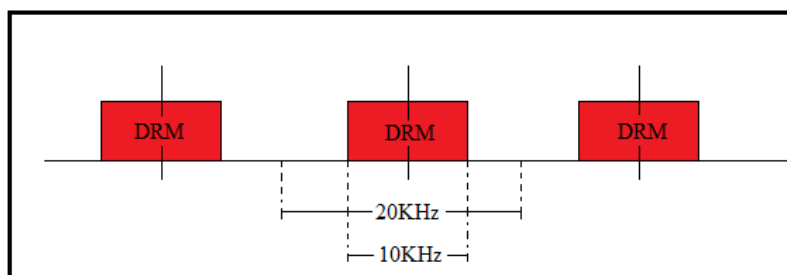


Figura 3.5: Canalización digital con 10KHz DRM

Ahora expondremos una posible canalización pensando en emisión solo digital, dentro de esto tenemos por ejemplo características básicas de emisión DRM trabajando en un ancho de banda de 5KHz, lo que implica un canal de 10KHz con un ancho de banda de 5KHz. Dentro de esto tenemos:

$$\text{No. canales} = \frac{1705\text{KHz} - 535\text{KHz}}{10\text{KHz}} = 117$$

Con esta opción duplicamos la cantidad de canales, opción que no es muy factible ya que en estas condiciones no se mejora la calidad de la emisión, y la demanda de este tipo de frecuencias no son comercialmente atractivas, sin embargo esta canalización puede observarse en la Figura 3.6.

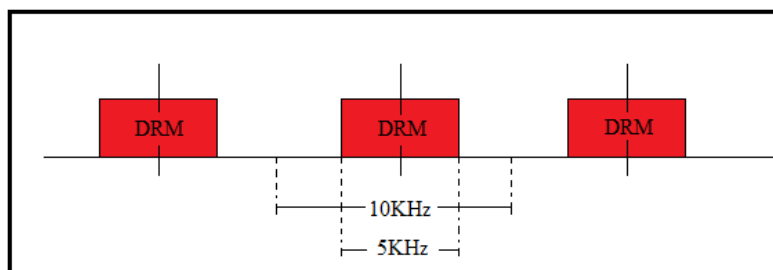


Figura 3.6: Canalización digital con 5KHz DRM

Finalmente sabemos que el estándar también tiene la posibilidad de trabajar al doble del ancho de banda nominal esto es a 20KHz, dentro de esta opción podemos plantear una canalización de 30KHz, en este caso el número de canales será:

$$No. canales = \frac{1705KHz - 535KHz}{30KHz} = 39$$

Es decir tendremos una disminución de 19 canales respecto a los 58 actuales, una desventaja de esto es la imposibilidad de satisfacer la demanda de canales, por otro lado se gana en calidad y posibilidades de programación y datos que se tendría, la canalización se expone en la Figura 3.7.

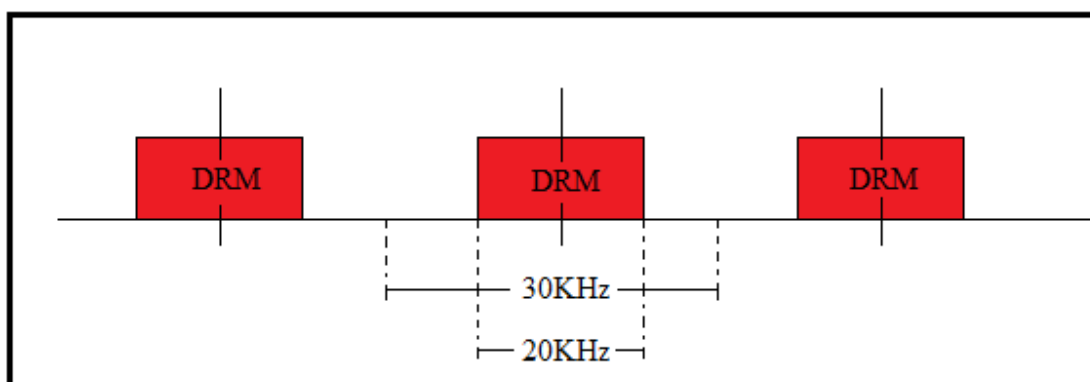


Figura 3.7: Canalización digital con 20KHz DRM

Haciendo una comparación entre el esquema de redistribución del espectro radioeléctrico planteado con la canalización en la que la radiodifusión AM funciona tenemos la Figura 3.8.

En la Figura 3.8 se puede observar que el estándar DRM es muy flexible para trabajar en opción simulcast y en el mismo ancho de banda de la radio analógica, todo esto sin afectar demasiado la canalización actual, esto demuestra que el estándar fue pensado sobre la banda donde ha estado trabajando la radio analógica en Amplitud Modulada.



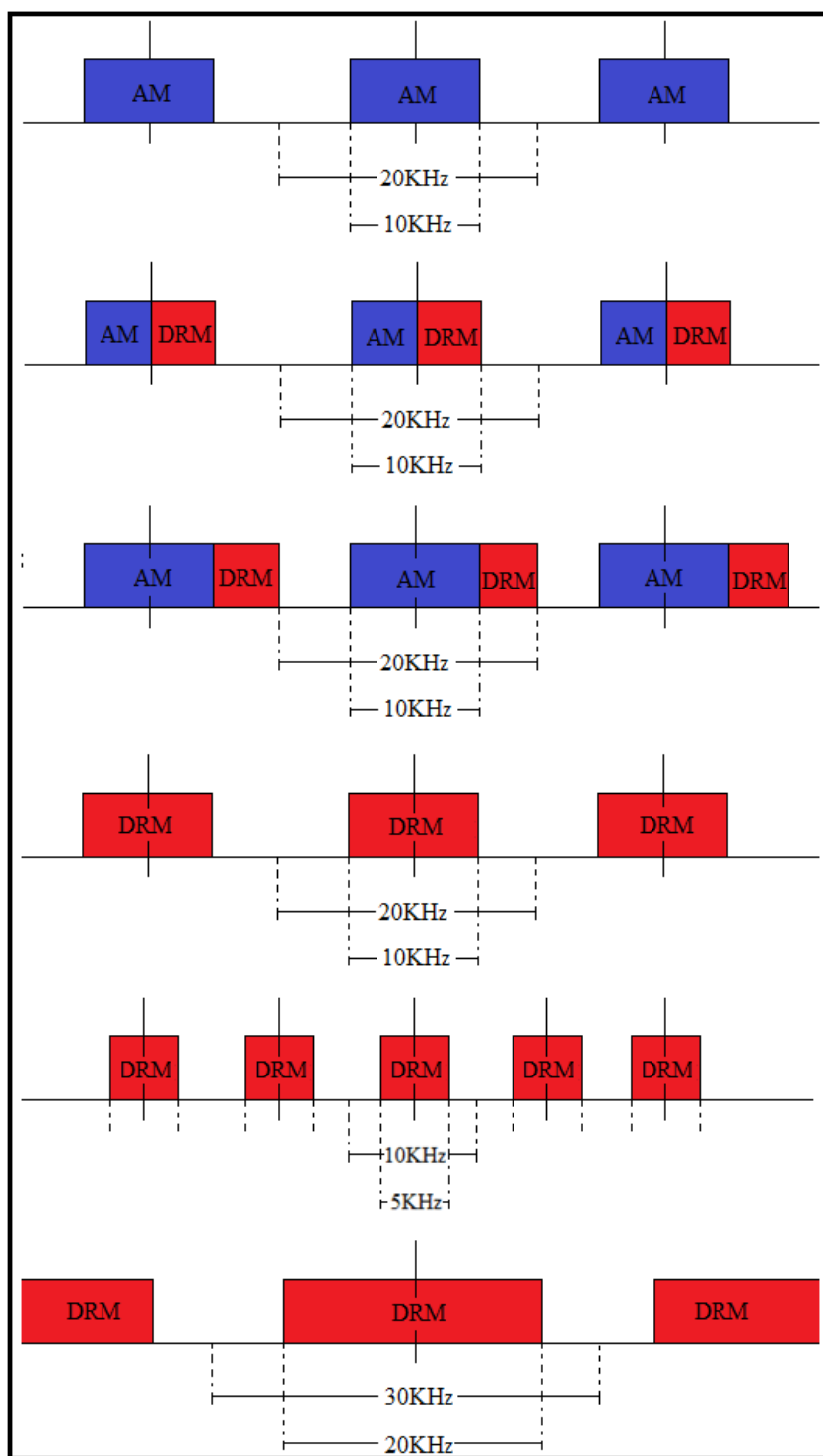


Figura 3.8: Comparación entre canalización analógica y digital.

En la Figura 3.8 también se observa que una redistribución posible del espectro significa el aumento de canales con un ancho de banda menor y obviamente con calidad y servicios DRM limitados, mientras que por el contrario una redistribución del espectro también significa una reducción del número de canales con un mayor ancho de banda y con mayor calidad y cantidad de servicios DRM.

## Capítulo 4

### COSTOS REFERENCIALES[11], [35]

Para el desarrollo de este capítulo se va a describir los costos referenciales concernientes primero a los equipos DRM de las marcas escogidas para después definir los costos de los demás equipos involucrados en el sistema de radiodifusión.

Hay que aclarar que los valores aquí presentados, sobre todo respecto a los equipos DRM, son valores aproximados debido a que por políticas de los fabricantes no exponen este tipo de información, y los aquí expuestos corresponden a datos obtenidos en documentos similares o foros de internet, además no consideran el IVA.

#### 4.1 COSTOS EQUIPOS DRM

La Tabla 4.1 expone los costos correspondientes a los equipos DRM principales.

EQUIPO	COSTO
Servidor de Contenido	30,000 a 120,000 dólares
Modulador	64,000 a 95,000 dólares
Transmisor	60,000 a 180,000 dólares
<b>TOTAL</b>	<b>154,000 a 395,000 dólares</b>
Receptor	150 a 350 dólares

Tabla 4.1: Costos equipos DRM

Dentro de los fabricantes expuestos en el presente documento, se puede distinguir entre tres marcas, las cuales debido a las prestaciones y servicios que ofrecían, DIGIDIA fue el óptimo para un diseño como el planteado en este proyecto, debido a que este fabricante combina las características suficientes para trabajar con el estándar DRM sin servicios adicionales tan complejos (necesarios para redes grandes) y opciones de escalabilidad aceptables, es decir equipos cuyas características son las básicas y más importantes para que un sistema DRM trabaje

eficientemente, esto implica que la marca DIGIDIA plantea un costo de los equipos bajo respecto a las demás marcas, por lo que el sistema puede plantearse a un precio de 154,000 dólares solo en equipos DRM, y asumiendo que se implementa una emisión simulcast sobre un sistema ya establecido analógico.

## 4.2 COSTOS EQUIPOS ENLACE MICROONDA

Para definir el costo de un sistema DRM completo se debe poner el costo de equipos y antenas para el enlace microonda, estos costos se muestran en la Tabla 4.2.

EQUIPO	COSTO
Equipos radioenlace microonda	2,000 dólares
Dos antenas parabólicas	300 dólares
<b>TOTAL</b>	<b>2,300 dólares</b>

Tabla 4.2: Costos de equipos radioenlace microonda.

Entonces podemos tener un costo aproximado de lo que significaría la adquisición de los equipos necesarios para generar un sistema simulcast sobre un sistema analógico ya montado, los equipos que involucran son todos los equipos DRM con opción híbrida y todo lo referente a un sistema de enlace microonda, asumiendo además que el sistema de antenas AM es reutilizable, que la concesión de frecuencias ya está hecha y que los demás equipos se mantienen, bajo este criterio el costo de transición analógica – digital se muestra en la Tabla 4.3.

EQUIPO	COSTO
Equipos DRM	154,000 dólares
Sistema enlace microonda	2,300 dólares
<b>TOTAL</b>	<b>156,300 dólares</b>

Tabla 4.3: Costo transición analógica – digital

El valor de 156,300 dólares es una estimación muy aproximada que considera lo principal del sistema, pero una opción completamente digital requiere equipos adicionales (independientes del estándar DRM) para un mejor desempeño.

### 4.3 COSTOS EQUIPOS ADICIONALES

La Tabla 4.4 considera equipos adicionales necesarios para un trabajo digital, esto es por ejemplo: micrófonos de buena calidad, consolas de audio digital, etc.

EQUIPO	COSTO
Consola de audio digital	5,500 dólares
Micrófonos (3)	1,050 dólares
Computador con capacidad para procesamiento de audio (2)	2,400 dólares
Sistema de almacenamiento de información	1,800 dólares
Audífonos (3)	900 dólares
UPS	300 dólares
<b>TOTAL</b>	<b>11,950 dólares</b>

Tabla 4.4: Equipos adicionales para un sistema de radiodifusión.

Respecto a la Tabla 4.4 el detalle de 3 micrófonos responde al considerar un Estudio con posibilidades de programación en vivo con un moderador y dos personas invitadas, como es usual en nuestro medio, respecto al detalle de 3 audífonos responden al considerar dos técnicos en consola monitoreando la programación y un micrófono de respaldo.

Entonces al costo de los equipos para la implementación DRM del sistema de radiodifusión se le suman los equipos adicionales para el tratamiento eficiente de la información, esta suma corresponde a 156,300 dólares del sistema más 11,950 dólares de los equipos adicionales dando como resultado un valor de 168,250 dólares.

Haciendo un resumen de los costos planteados anteriormente tenemos la Tabla 4.5.

EQUIPOS	COSTO
Equipos DRM	154,000 dólares
Equipos radioenlace microonda	2,300 dólares
Equipos adicionales	11,950 dólares
<b>TOTAL</b>	<b>168,250 dólares</b>
Receptores	150 dólares

Tabla 4.5: Resumen de costos solución DRM.

#### 4.4 OTRAS CONFIGURACIONES DEL SISTEMA DRM.

Hasta este punto se ha considerado un sistema de radiodifusión DRM básico, pero los sistemas reales son grandes y de cobertura mayor, esto se puede plantear con redes de frecuencia única, que demanda otros equipos adicionales que den soporte a este sistema, como por ejemplo unidades que permitan conectar transmisores en paralelo, equipos de sincronización<sup>1</sup> en base a GPSs, monitoreo, etc.

Por ejemplo puede plantearse un sistema con dos moduladores DRM, uno de los cuales funciona como respaldo, gestionados a través de una unidad del control para garantizar un valor agregado en cuando a disponibilidad del servicio de radiodifusión, el esquema de esta estructura se la puede observar en la Figura 4.1.

---

<sup>1</sup> La sincronización es básica en redes de frecuencia única ya que la señal dará un aporte positivo en función del intervalo de guarda, por esta razón DRM se basa de GPSs para sincronizar

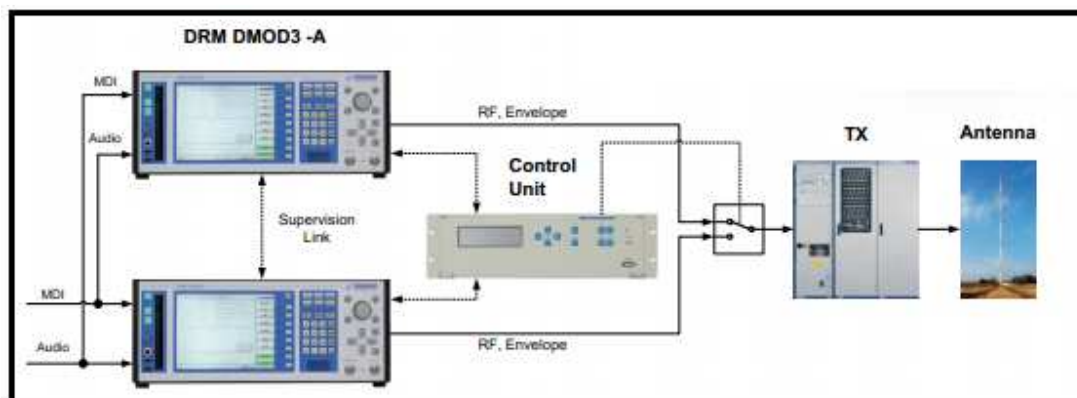


Figura 4.1: Configuración con Modulador DRM de respaldo[36].

Otro ejemplo es tener un respaldo de transmisores a través de una unidad que permite conectar estos en paralelo, y que además hace un balanceo de carga haciendo trabajar los dos de manera equilibrada y cuando uno falla concentra el trabajo en el transmisor que si funciona, la Figura 4.2 muestra esta configuración.

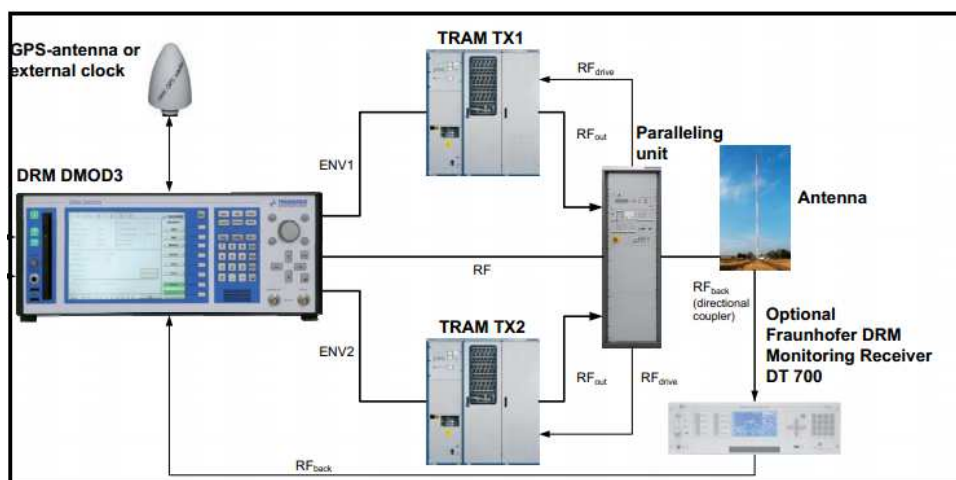


Figura 4.2: Configuración con transmisores DRM de respaldo [36].

En la Figura 4.2 también se puede apreciar los servicios de sincronización a través de un GPS, en este caso (TRANSRADIO) con GPS incorporado en el modulador, pero para marcas como DIGIDIA el sistema de sincronización GPS está en un módulo

externo, también se puede ver un receptor de monitoreo el cual permite garantizar una buena calidad de recepción y bajo ruido.

Para el caso DIGIDIA el módulo externo para sincronización se llama DIAPASON-DRM que tiene un costo referencial de 4,200 dólares.

Otro ejemplo que constituye una configuración avanzada donde además de realizar el transporte de audio se realiza el transporte de aplicaciones de datos a través de una red de múltiples sitios de transmisión de varios estudios, esto se muestra en la Figura 4.3.

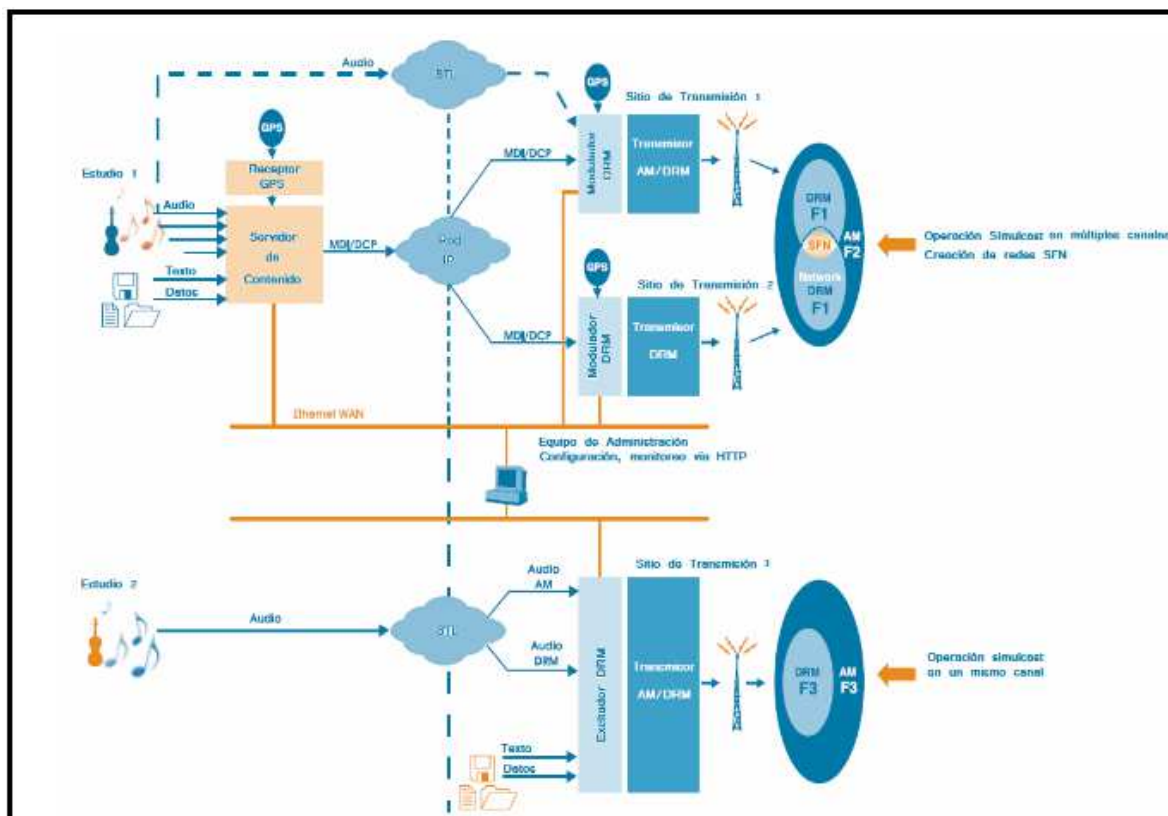


Figura 4.3: Configuración DRM avanzada [18].

En la Figura 4.3 se conectan dos estudios con múltiples sitios de transmisión, en este caso está configurado para que los enlaces STL transporten información analógica y



los enlaces IP transporten información digital manejando el formato MDI/DCP, ésta configuración requiere una alta modernización de la red.

## Capítulo 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

El desarrollo del estándar está basado en tecnologías digitales ya existentes solo que adaptadas a otras condiciones y aplicadas de otra manera, por ejemplo la compresión de datos que buscaba aumentar información sonora en el mismo espacio de memoria, en el estándar digital busca disminuir la tasa de bits por segundo.

El estándar de radiodifusión digital DRM es una buena opción para aplicar en Onda Media en el Ecuador por permitir elevar la calidad del audio y ofrecer servicios adicionales, parámetros que constituyen además una reactivación del interés de los radiodifusores en la banda de la actual Amplitud Modulada.

El estándar DRM es un sistema confiable ya que tiene tiempo desarrollándose y perfeccionándose, esta estandarizado en al menos tres instituciones de reconocimiento mundial, además de ser un sistema abierto lo que invita a más gente a trabajar sobre él,

La opción simulcast que ofrece el estándar DRM asegura la transición no brusca a una era completamente digital, pero debido al ancho de banda que se dispone (10KHz), no serían todavía evidentes las ventajas de la opción digital, por lo que debe esperarse el apagón analógico y en base a una norma técnica, plantear los sistemas de una manera óptima.

El estándar ofrece flexibilidad en cuanto a la configuración del sistema, esto es por ejemplo, poder definir el ancho de banda, el modo de transmisión, etc., parámetros que determinan la calidad y escenario de aplicación del sistema, estos parámetros además son configurables.

Dentro de la arquitectura del estándar hay tramos de codificación de fuente que ayuda a la compresión de información y también hay tramos de codificación de canal el cual nos brinda redundancia, es decir, por un lado se disminuye la cantidad de bits con la codificación de fuente y por el otro se aumenta la cantidad de bits con la codificación de canal, de esto se debe tener un equilibrio donde la tasa de bits sea la más baja posible pero garantizando buena compresión y redundancia.

El diseño del sistema de radiodifusión digital considera los parámetros de la radio AM tradicional para definir los lineamientos de diseño, esto es: ancho de banda, banda de frecuencias, estructura de un sistema tradicional, etc., los cuales son tomados como base para plantear las características de un sistema digital, estos no generan inconvenientes dado que los requerimientos digitales coinciden con los parámetros de los sistemas tradicionales, excepto en cuanto al ancho de banda para servicios de muy buena calidad.

Los parámetros de diseño se referencian al Acuerdo Regional sobre el servicio de radiodifusión por ondas hectométricas y la Ley y Reglamento de Radiodifusión y Televisión del Ecuador, los cuales plantean a grosso modo la estructura de un sistema, dejando a criterio del radiodifusor el valor del ancho de banda, esto puede considerarse como un punto positivo dado que brinda un margen de flexibilidad para plantear el diseño digital, pero una norma técnica bien especificada y definida siempre es preferible.

Otra referencia para el diseño es la Recomendación UIT-R BS.1615, Recomendación que establece los parámetros generales y que nace de pruebas realizadas sobre un sistema DRM ya instalado, el cual permite obtener parámetros técnicos del sistema a diseñar para cuando el trabajo es simulcast.

El Proyecto plantea un sistema con transmisión local, es decir un sistema pequeño y estructurado, de tal manera que el estudio este en el centro de la urbe en este caso en la EPN y el transmisor en el cerro Pichincha, esto obedece a la topografía de la

ciudad y los beneficios en cuanto a cobertura que significa tener el transmisor en el cerro Pichincha.

Dentro de los parámetros de planificación se define la frecuencia de trabajo (1430KHz) y la frecuencia auxiliar para el radioenlace microonda (en la banda 2310 – 2360 MHz), el criterio para elección de frecuencia de trabajo responde al considerar que a medida que se aumenta la frecuencia el área de cobertura disminuye, y al ser un sistema pequeño no genera inconvenientes con una frecuencia relativamente alta dentro de la banda considerada, respecto a la elección de la frecuencia auxiliar esta responde a un rango de frecuencias definido por el Plan Nacional de Frecuencias asignado para este tipo de aplicación.

El haber relacionado la arquitectura con el diagrama de bloques de los equipos existentes en el mercado, ayuda a distinguir entre el estándar y todo el proceso de tratamiento de la señal con el trabajo que determinado equipo desarrolla, ayuda además a tener una estructura más clara sobre el sistema.

En cuanto a los fabricantes que desarrollan equipos DRM, se tienen varios, dentro de las cuales se escoge tres que son más conocidos y dentro del escenario de las telecomunicaciones se presentan como los más considerados por los radiodifusores; de estos todos ofrecen los requerimientos mínimos que el estándar DRM define, los criterios de distinción analizan valores agregados como: servicios adicionales que puedan ofrecer, comodidad de configuración, costos, etc.

El cálculo del enlace Estudio – Transmisor se basa en la metodología referenciada para enlaces microonda, dentro del cual se definen parámetros, además de los cálculos un soporte adicional son los programas computacionales como Google Earth y Radio Mobile, los cuales nos permiten tener una referencia para comparar con los cálculos obtenidos; los resultados difieren de los originales debido a que un programa (Radio Mobile) además considera la influencia del modelo de propagación utilizado (Longley – Rice) y los cálculos no consideran ningún modelo de propagación.

Radio Mobile trabaja con parámetros distintos a los parámetros que trabaja la radio digital, por lo que la predicción de cobertura hecha con este software no sería la cobertura que se lograría con un sistema digital, solo nos aporta con una idea, un resultado más aproximado de cobertura es el calculado en el mapa donde se hace el tratamiento de cobertura haciendo cálculos punto a punto distanciados cada cierto ángulo, para tener una confiable predicción requiere el desarrollo de un modelo de propagación aplicable a la radio digital.

Los costos del sistema no solo implican el valor de los equipos DRM sino además equipos adicionales que trabajen conjuntamente con los equipos DRM, ya que no tendría sentido hacer un tratamiento digital de la señal cuando por ejemplo el radioenlace sea todavía analógico.

El sistema planteado en el presente Proyecto al ser pequeño puede no ser aprovechado en su totalidad, ya que las ventajas y beneficios de un sistema digital se ven maximizados en diseños grandes, un ejemplo es el beneficio de una Red de Frecuencia Única.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Generalmente un estándar está ideado para aplicarse sobre un escenario amplio, en el caso del estándar DRM aplica a la banda donde opera la radio FM y también a la banda donde opera la radio AM, pero generalmente los estudios aplican a una parte de todo este escenario, por lo que es recomendable describir las características del estándar de forma general y profundizar en aquellas partes que involucran la información de interés.

Para tener claro un proceso de diseño se debe tener una base estructural donde se definan los lineamientos sobre los cuales se va a trabajar el diseño, el objeto de esto es tener esbozada una ruta sobre la cual avanzar para evitar perderse en el camino.

Los requerimientos de ancho de banda de la señal digital para niveles de calidad muy buenos requieren un ancho de banda mayor que la canalización actual en el Ecuador, por lo que se recomienda disminuir la cantidad de canales para garantizar estaciones de radiodifusión digital con niveles de calidad comparables a las de un CD.

Para tener criterios de decisión frente a la adopción de un estándar de radio digital para el Ecuador se debe primero entender y probar como trabajan todo los estándares disponibles sobre nuestro escenario en particular, si bien las experiencias de otros países pueden favorecernos con ciertos argumentos a tomar en cuenta, estos no determinan las mismas consideraciones que para nuestro caso.

Para poder tener flexibilidad en la configuración y poder jugar con la calidad del sistema DRM puede considerarse la generación de una norma técnica la cual permita poder escoger el ancho de banda al cual se quiere trabajar.

Para que una herramienta computacional funcione como un elemento confiable y de ayuda en el Proyecto, el algoritmo y cálculos deben aplicarse al escenario que se está considerando, caso contrario sería una herramienta inútil que confunde resultados, o también se puede conocer a fondo el proceso que usa dicho programa computacional para analizar los resultados y compararlos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Victor M. Nesterovsky, "Estándares de transmisión terrena para radio digital," Caracas - Venezuela.
- [2] Consorcio DRM. www.drm.org. [Online]. [http://www.drm.org/?page\\_id=99](http://www.drm.org/?page_id=99), septiembre 2013.
- [3] RADIOWORLD. (2012, Febrero) radioworld.com. [Online]. <http://radioworld.com/article/gustavo-orna-conversa-sobre-pruebas-de-drm/211647>, septiembre 2013.
- [4] Juan Carlos Valencia Rincón, "La radio digital: ¿Una demanda social o un nuevo escenario de las pugnas del capitalismo globalizado?," *Signo y Pensamiento*, vol. 27, junio 2008, [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-48232008000100009&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-48232008000100009&script=sci_arttext). [Online]. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-48232008000100009&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-48232008000100009&script=sci_arttext), septiembre 2013.
- [5] DRM: el futuro ya está aquí. [Online]. <http://galeon.com/diexismo/drm.htm>, septiembre 2013.
- [6] DRM Consortium, *DRM Introduction and Implementation Guide.*, Agosto 2012, www.drm.org.
- [7] Igor Fernandez Pérez, *Estudio de la recepción del estándar de radio digital DRM en onda media en interiores*. Bilbao, España, Junio 2011, Universidad del País Vasco, Tesis doctoral.
- [8] DRM Consortium, *DRM Broadcaster's Guide.*, Junio 2010, www.drm.org.
- [9] ETSI, *DRM System Specification, (ETSI ES 201 980 V3.2.1).*, Junio 2012, www.etsi.org.
- [10] Sigfredo Pagel, Fernando Aguado y Fernando Isas, "La radiodifusión en las bandas sub 30 MHz, el sistema DRM," *Revista española de electrónica*, no. N° 600, pp. 58-65, Noviembre 2004.

- [11] María Fernanda Puente Villalva, *Estudio de Factibilidad para la Implementación del Servicio de Radiodifusión Digital DRM en el Ecuador*. Sangolquí, Octubre 2005, ESPE.
- [12] Stefan Meltzer Martin Dietz, "Audio Coding Scheme," Julio 2002, Alemania.
- [13] José M. Huerta, "EL SISTEMA DRM (Digital Radio Mondiale)," Abril 2005, Dirección Técnica de Radio Nacional de España.
- [14] Superintendencia de Telecomunicaciones, "Radiodifusión Sonora Analógica," *SUPERTEL, Revista Institucional*, no. 15, pp. 8 - 11, Agosto 2012.
- [15] Superintendencia de Telecomunicaciones. (2011, Noviembre) Radiodifusión Sonora. [Online].  
[http://www.supertel.gob.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=162%3Ainformacion-basica-radiodifusion-&catid=55&Itemid=303](http://www.supertel.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=162%3Ainformacion-basica-radiodifusion-&catid=55&Itemid=303)
- [16] CONATEL, *Plan Nacional de Frecuencias*. Ecuador , 2012.
- [17] UIT, *RECOMENDACION UIT-R BS.1615, Parámetros de planificación» para la radiodifusión sonora digital en frecuencias inferiores a 30 MHz.*, 2003.
- [18] Cadena Jiménez Luis Enrique y Vásquez Ortiz Diego Paul, *Migración de la Radiodifusión Analógica a la Radiodifusión Digital por Debado de los 30 MHz en el País*. Quito, Ecuador, 2007, Escuela Politécnica Nacional.
- [19] FRAUNHOFER IIS. FRAUNHOFER IIS, Projects DRM. [Online].  
<http://www.iis.fraunhofer.de/en/bf/db/pro/drm.html>, septiembre 2013.
- [20] HARRIS BROADCAST. HARRIS BROADCAST, Deliver the moment. [Online].  
<http://harrisbroadcast.com/productsandsolutions/default.asp>, septiembre 2013.
- [21] DIGIDIA. DIGIDIA, digital intelligence for next media. [Online].  
<http://www.digidia.fr/>, septiembre 2013.
- [22] Islas Lazcano Kristian Galaguer, *Calculo y Simulación para Enlaces de Microondas Punto a Punto*. México, 2009, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
- [23] Erazo Chulde Hector Javier, *ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA DE*



*REDES DE FRECUENCIA ÚNICA (ISOFRECUENCIA), Y SU APLICACIÓN EN LA RADIODIFUSIÓN EN LAS BANDAS DE AM Y FM PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO EN LA CIUDAD DE QUITO.* Quito, Ecuador, Abril 2009, ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.

- [24] MSc Ing. Aldo N. Bianchi, *Ingeniería de las comunicaciones II.*, Octubre 1997.
- [25] SAF TEHNIKA, *Punto a Punto, Radio Microondas, Equipos para Comunicaciones de Voz y Datos.*, [https://www.saftehnika.com/upload/File/Siebel/201005013\\_SAF\\_CFIP\\_Cfq\\_brochure\\_Esp.pdf](https://www.saftehnika.com/upload/File/Siebel/201005013_SAF_CFIP_Cfq_brochure_Esp.pdf) , septiembre 2013.
- [26] ANTENAS LATINAS. [www.antenaslatinas.com](http://www.antenaslatinas.com). [Online]. <http://www.antenaslatinas.com/es/Equipos/enlaces-de-microondas-digitales-de-televisi%C3%B3n-mdtl-mdtlp-dbbroadcast>, septiembre 2013.
- [27] OMB BROADCAST, *Digital Microwave Link DMWL HIGH SPEED 3.7 - 39GHZ.*, [http://www.omb.com/sites/default/files/ENLACE%20DE%20MICROONDAS%20DIGITAL\\_ING%28HS%29.pdf](http://www.omb.com/sites/default/files/ENLACE%20DE%20MICROONDAS%20DIGITAL_ING%28HS%29.pdf) , septiembre 2013.
- [28] CONSULFEM S.A. Antenas para Micro Ondas, Especificaciones Técnica. [Online]. <http://www.consulfem.com/files/microond.pdf>, septiembre 2013.
- [29] Sebastian Buettrich, *CÁLCULO DE RADIOENLACE.*, Julio 2007.
- [30] Pedro Muniesa, Introducción al Sistema DRM, Enero 2005, Radio Nacional de España, Disponible en [www.rtve.es/drm/doc/introduccion\\_sistema\\_drm.pdf](http://www.rtve.es/drm/doc/introduccion_sistema_drm.pdf).
- [31] Luis Escobar, Adrián Escalona, Héctor Herazo, Frank Madera.. (Noviembre 2012) PROPAGACIÓN DE ONDAS, Margen de Desvanecimiento. [Online]. <http://propagaciondeondascom1.blogspot.com/>, septiembre 2013.
- [32] ANDRÉS RICARDO GALINDO IMBAQUINGO, *DISEÑO DE UNA RED PARA TRANSMISIÓN DE VOZ, DATOS E INTERNET PARA LA EMPRESA FLORÍCOLA FALCON FARMS.* Quito, Enero 2013.
- [33] Constantino Pérez Vega, . España, 2007, Universidad de Cantabria.
- [34] SAT-SCHNEIDER. DRM compatible RF tuner unit€ DRT1 - SAT-Schneider.

[Online]. <http://www.sat-schneider.de/download/Flyer.pdf>, septiembre 2013.

- [35] Anibal Rolando Cacay Torres y Santiago Fernando Herrera Riofrio, *ESTUDIO DEL IMPACTO Y FACTIBILIDAD SOBRE LA DIGITALIZACIÓN INTEGRAL EN EL ECUADOR DEL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN SONORA TERRESTRE APLICADO A LA EMPRESA LA "SUPREMA ESTACIÓN 96.1 FM"*. Cuenca, Ecuador, 2011, Universidad Politécnica Salesiana.
- [36] TRANSRADIO, *SendeSystem Berlin AG*. Berlin , Alemania.
- [37] Kristian Galaguer Islas Lazcano, *CALCULO Y SIMULACIÓN PARA ENLACES DE MICROONDAS PUNTO A PUNTO*. México, 2009.