



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

“ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE SERVICIO EN LA TRANSMISIÓN AM DIGITAL MEDIANTE EL USO DE CÓDECS EN USRP”

AUTOR: JUAN JOSÉ PÉREZ INSUASTI

Trabajo de Titulación Modalidad Proyecto de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAGISTER EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES

Riobamba – Ecuador

Noviembre, 2018

@2018, Juan José Pérez Insuasti

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN

El Tribunal del PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CERTIFICA QUE:

El **Trabajo de Titulación** modalidad **Proyectos de Investigación y Desarrollo**, titulado: “ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE SERVICIO EN LA TRANSMISIÓN AM DIGITAL MEDIANTE EL USO DE CÓDECS EN USRP”, de responsabilidad del señor Juan José Pérez Insuasti, ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Dr. Juan Vargas.

PRESIDENTE

Dr. Hugo Moreno Ph.D.

DIRECTOR

Dr. Jefferson Ribadeneira Ph.D.

MIEMBRO

Ing. Mónica Zabala M.Sc.

MIEMBRO

Riobamba, noviembre 2018

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Juan José Pérez Insuasti declaro ser la autora del presente trabajo de titulación: “ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE SERVICIO EN LA TRANSMISIÓN AM DIGITAL MEDIANTE EL USO DE CÓDECS EN USRP”, que fue elaborado en su totalidad por mi persona, bajo la dirección del Dr. Hugo Moreno Ph.D., haciéndome totalmente responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio de la misma pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

JUAN JOSÉ PÉREZ INSUASTI

No. Cédula: 0602867152

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, mi Creador, mi Señor y mi Padre Celestial; quien me ha dado todos los talentos, dones y recursos para poder llevar a cabo el presente trabajo.

Y a mi familia y sobre todo a mi abuelo, quien con su ejemplo de esfuerzo, trabajo y honradez ha inculcado en mí estos valores.

Juan José Pérez Insuasti

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todo el cuerpo docente tanto de Ingeniería Electrónica, así como del programa de maestría en Telecomunicaciones, de manera especial al director de este trabajo y a los miembros del tribunal, Dr. Hugo Moreno Ph.D., Ing. Mónica Zabala M. Sc. y al Dr. Jefferson Ribadeneira Ph.D., por su apoyo y el tiempo invertido en la revisión de este trabajo.

Juan José Pérez Insuasti

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xvi
SUMMARY	xvii
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problema de Investigación.....	1
<i>1.1.1. Planteamiento del problema.....</i>	<i>1</i>
<i>1.1.2. Formulación del problema.....</i>	<i>2</i>
<i>1.1.3. Sistematización del problema.....</i>	<i>2</i>
1.2. Justificación de la investigación.....	2
1.3. Objetivos de la investigación.....	4
<i>1.3.1. Objetivo General.....</i>	<i>4</i>
<i>1.3.2. Objetivos Específicos.....</i>	<i>4</i>
1.4. Hipótesis.....	5
1.5. Delimitación.....	5
1.6. Población de estudio:.....	5
CAPITULO II.....	6
2. MARCO DE REFERENCIA.....	6
2.1. Breve historia de la Radiodifusión.....	6
2.2. Radiodifusión en Ecuador.....	7
<i>2.2.1. Espectro Radioeléctrico.....</i>	<i>8</i>
2.3. Transmisión analógica para Radiodifusión.....	9
<i>2.3.1. Transmisión por Amplitud Modulada.....</i>	<i>9</i>
<i>2.3.2. Propagación de la señal en Amplitud Modulada.....</i>	<i>10</i>
2.4. Transmisión Digital para Radiodifusión.....	11

2.4.1.	<i>Estándares De Transmisión De Radio Digital.....</i>	12
2.4.1.1.	<i>IBOC</i>	13
2.4.1.2.	<i>DAB</i>	13
2.4.1.3.	<i>DRM</i>	14
2.5.	DRM - Digital Radio Mondiale	15
2.5.1.	<i>Descripción general del sistema.....</i>	15
2.5.1.1.	<i>Parámetros Relacionados con el Ancho de Banda de la Señal</i>	16
2.5.1.2.	<i>Parámetros Relacionados con la Eficiencia de Transmisión.....</i>	16
2.5.2.	<i>Arquitectura del Estándar DRM.....</i>	18
2.5.2.1.	<i>Codificación de Fuente.....</i>	20
2.5.2.2.	<i>Herramientas Auxiliares para Codificación</i>	23
2.5.2.3.	<i>Supertramas de Audio</i>	24
2.5.2.4.	<i>Proceso de Codificación AAC (Advanced Audio Coding).....</i>	25
2.5.2.5.	<i>AAC + SBR.....</i>	27
2.5.2.6.	<i>Ocultamiento de Error en AAC</i>	28
2.5.2.7.	<i>Multiplexación.....</i>	29
CAPITULO III.....		39
3.	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	39
3.1.	Tipo y diseño de investigación	39
3.2.	Métodos de investigación	39
3.3.	Enfoque de investigación.....	40
3.4.	Alcance de la investigación	40
3.5.	Población de estudio	41
3.6.	Unidad de análisis.....	41
3.7.	Procesos para el desarrollo del trabajo de investigación	41
3.7.1.	<i>Determinar los niveles de sintonía de la radio en amplitud modulada en las comunidades rurales de Riobamba y Colta</i>	42
3.7.2.	<i>Diagnosticar las técnicas y tecnologías para la transmisión de radio en Amplitud Modulada, a través de revisión bibliográfica, y determinar la mejor opción tecnológica.</i>	46
3.7.3.	<i>Implementar un sistema de transmisión de radio AM digital mediante la utilización de una tarjeta USRP, y el uso de codecs implementados en GNURadio.....</i>	49
3.7.3.1.	<i>Método utilizado para el desarrollo del trabajo de investigación</i>	50

3.7.3.2. Selección de muestras de audio	50
3.7.3.3. Preparación del sistema transmisión	51
3.7.3.4. Procesamiento de datos	68
3.7.3.5. Muestra de resultados	74

CAPÍTULO IV 75

4. EVALUACIÓN Y RESULTADOS..... 75

4.1. Obtención y Análisis de Resultados 75

4.1.1. Análisis de los valores de la velocidad de transmisión (bps) y la relación e señal a ruido (SNR) y discusión de resultados 75

4.1.1.1. Evaluación de las señales generadas por el sistema de transmisión en GNU Radio.. 76

4.1.1.2. Evaluación de las señales cargadas desde archivo capturado de una emisión real... 85

4.1.1.3. Evaluación de las características de las señales generadas por el sistema..... 96

4.2. Análisis para determinar la calidad del audio codificado..... 100

4.3. Comprobación De La Hipótesis..... 101

4.3.1. Demostración de la hipótesis..... 102

CONCLUSIONES..... 105

RECOMENDACIONES..... 106

GLOSARIO DE TÉRMINOS

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Espectro Radioeléctrico.....	8
Tabla 2-2: Banda de frecuencias para Radiodifusión y regiones de la ITU.....	8
Tabla 3-2: Tasas de código y constelaciones para los canales DRM.....	17
Tabla 4-2: Modos de robustez de DRM y sus condiciones de propagación.....	18
Tabla 5-2: Ocupación del espectro en DRM.....	18
Tabla 6-2: Niveles de protección de cada flujo de la trama	32
Tabla 7-2: Longitud del campo de datos del service description channel.....	35
Tabla 8-2: Tipos de entidades del service description channel (SDC).....	36
Tabla 1-3: Determinación de la muestra	43
Tabla 2-3: Cuadro comparativo de las tecnologías de radiodifusión digital terrestre	47
Tabla 3-3: Características de los computadores	51
Tabla 1-4: Resumen datos obtenidos por el sistema.	85
Tabla 2-4: Resumen datos obtenidos por el sistema.	96
Tabla 3-4: Modos de transmisión.....	97
Tabla 4-4: Velocidades de transmisión estimadas.....	97
Tabla 5-4: Resumen datos obtenidos por el sistema.	98
Tabla 6-4: Resumen datos obtenidos por el sistema.	102
Tabla 7-4: Variables de los datos esperados	102
Tabla 8-4: Estadístico prueba.....	103
Tabla 9-4: Estadístico prueba.....	103
Tabla 10-4: Comprobación de hipótesis.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2. Regiones de la UIT.....	8
Figura 2-2. Modulación en AM	9
Figura 3-2. Propagación por ondas de superficie.....	10
Figura 4-2. Propagación por ondas ionosféricas	10
Figura 5-2. Transmisión digital.....	11
Figura 6-2. Sistema de comunicación digital.....	12
Figura 7-2. Bandas de uso del sistema DRM.....	15
Figura 8-2. Diagrama de constelación para 16-QAM.....	17
Figura 9-2. Diagrama de Bloques del Sistema DRM.....	19
Figura 10-2. Codificador de fuente DRM	21
Figura 11-2. Funcionamiento de la Replicación de Banda Espectral (SBR)	23
Figura 12-2. Transmisión de Estéreo Paramétrico (PS).....	24
Figura 13-2. Diagrama general para el chequeo por Redundancia Cíclica (CRC)	25
Figura 14-2. Supertrama DRM	27
Figura 15-2. Trama AAC+SBR	28
Figura 16-2. Servicios del Main Service Channel (MSC)	29
Figura 17-2. Tramas multiplexadas.....	32
Figura 18-2. Estructura del Fast Access Channel (FAC).....	33
Figura 19-2. Estructura del Service Description Channel (SDC)	34
Figura 20-2. Cabecera de una entidad de datos de Service.....	35
Figura 1-3. Diagrama de procedimientos.....	41
Figura 2-3: Sistema de transmisión implementado en GNU Radio	49
Figura 3-3: Diagrama de la metodología	50
Figura 4-3: Fuente de audio	50
Figura 5-3. Bloques de transmisión DRM en GNU Radio	53
Figura 6-3. Parámetros iniciales configurados.....	53
Figura 7-3. Configuración DRM.....	54
Figura 8-3. Tramas MSC, SDC y FAC.	54
Figura 9-3. Datos enviados en la transmisión.	55
Figura 10-3. Dispersador de energía y Codificación de canal	56
Figura 11-3. Generación de PRBS con el uso de shift registers	56
Figura 12-3. Entrelazado de células	57
Figura 13-2. Entrelazado en tiempo y frecuencia	57
Figura 14-3. Codificador Convolutivo	58

Figura 15-3. Mapeo de Células OFDM y Células Piloto	58
Figura 16-3. Generación de señal OFDM	59
Figura 17-3. Interfaz GUI DRM Transmitter.....	60
Figura 18-3. Análisis espectral señal emitida por el transmisor.....	61
Figura 19-3. Análisis espectral señal emitida por el transmisor.....	61
Figura 20-3. Puesta en marcha del sistema. Execute flow graph	62
Figura 21-3. Ejecución del código del transmisor en modo No GUI.....	62
Figura 22-3. Tarjeta USRP y señal mostrada en el analizador de espectros.	63
Figura 23-3. Señal transmitida, mostrada en el analizador de espectros.....	63
Figura 24-3. Señal transmitida a 5 MHz	64
Figura 25-3. DLLs de HDSDR	65
Figura 26-3. Sintonizador de un rango de frecuencias en HDSDR.....	65
Figura 27-3. Muestra de captura de señal de radio en DRM.....	66
Figura 28-3. Muestra de captura de señal de radio en DRM.....	66
Figura 29-3. Control Panel de Virtual Audio Cable.....	67
Figura 30-3. Menú de soundcard de HDSDR	67
Figura 31-3. Menú de soundcard de Dream SDR	68
Figura 32-3. VAC Audio Repeater	68
Figura 33-3. Transmisión y recepción de señales en DRM.	69
Figura 34-3. Pantalla principal DREAM.	69
Figura 35-3. Análisis espectral de la señal transmitida	70
Figura 36-3. Análisis espectral de la señal transmitida procesada digitalmente.	70
Figura 37-3. Análisis espectral de la señal transmitida por una ventana espectral	71
Figura 38-3. Análisis espectral de la señal transmitida por Shifted PSD.....	71
Figura 39-3. Análisis espectral de la relación señal a ruido SNR.	72
Figura 40-3. Diagrama de constelación de los Canales de codificación MSC, FAC SDC	72
Figura 41-3. Diagrama de constelación de los Canales de codificación FAC	73
Figura 42-3. Diagrama de constelación de los Canales de codificación SDC	73
Figura 43-3. Diagrama de constelación de los Canales de codificación MSC.....	74
Figura 44-3. Relación señal a ruido con respecto al audio.....	74
Figura 1-4. Recepción de la señal en HDSDR y Dream SDR	77
Figura 2-4. Transmisión de la señal el GNU Radio	78
Figura 3-4. Pantalla principal DREAM. Modo A, Ancho de Banda 5kHz	78
Figura 4-4. Input Spectrum	78
Figura 5-4. Pantalla principal SNR Spectrum. Modo A, Ancho de Banda 5kHz	79
Figura 6-4. Diagrama de constelación de la modulación QAM.....	79
Figura 7-4. Frecuencia doppler y retraso	80

Figura 8-4. Pantalla principal DREAM. Modo B, Ancho de Banda 5kHz	80
Figura 9-4. Input Spectrum	81
Figura 10-4. Pantalla principal SNR Spectrum. Modo B, Ancho de Banda 5kHz.....	81
Figura 11-4. Diagrama de constelación de la modulación QAM.....	82
Figura 12-4. Frecuencia doppler y retraso	82
Figura 13-4. Pantalla principal DREAM. Modo B, Ancho de Banda 10kHz	83
Figura 14-4. Input Spectrum	83
Figura 15-4. Pantalla principal SNR Spectrum. Modo B, Ancho de Banda 10kHz.....	84
Figura 16-4. Diagrama de constelación de la modulación QAM.....	84
Figura 17-4. Frecuencia doppler y retraso	85
Figura 18-4. Carga de archivos en Dream SDR.....	86
Figura 19-4. Pantalla principal DREAM. Modo A, Ancho de Banda 20kHz.....	86
Figura 20-4. Input Spectrum	87
Figura 21-4. Pantalla principal SNR Spectrum. Modo A, Ancho de Banda 20kHz	87
Figura 22-4. Diagrama de constelación de la modulación QAM.....	88
Figura 23-4. Frecuencia doppler y retraso	88
Figura 24-4. Pantalla principal DREAM. Modo A, Ancho de Banda 10kHz.....	89
Figura 25-4. Input Spectrum	89
Figura 26-4. Pantalla principal SNR Spectrum. Modo A, Ancho de Banda 10kHz	90
Figura 27-4. Diagrama de constelación de la modulación QAM.....	90
Figura 28-4. Frecuencia doppler y retraso	91
Figura 29-4. Pantalla principal DREAM. Modo B, Ancho de Banda 10kHz	91
Figura 30-4. Input Spectrum	92
Figura 31-4. Pantalla principal SNR Spectrum. Modo B, Ancho de Banda 10kHz.....	92
Figura 32-4. Diagrama de constelación de la modulación QAM.....	93
Figura 33-4. Frecuencia doppler y retraso	93
Figura 34-4. Pantalla principal DREAM. Modo C, Ancho de Banda 10kHz	94
Figura 35-4. Input Spectrum	94
Figura 36-4. Pantalla principal SNR Spectrum. Modo C, Ancho de Banda 10kHz.....	95
Figura 37-4. Diagrama de constelación de la modulación QAM.....	95
Figura 38-4. Frecuencia doppler y retraso	96

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4. Velocidad de transmisión de los tres modos de robustez.	99
Gráfico 2-4. Relación de señal a ruido de los tres modos de robustez.....	99
Gráfico 3-4. Distribución X2.....	104

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2	25
Ecuación 2-2	25
Ecuación 3-2	25
Ecuación 4-2	31
Ecuación 5-2	34
Ecuación 1-3	56
Ecuación 1-4	101

RESUMEN

El objetivo fue realizar el estudio y análisis de la calidad de servicio en la transmisión am digital mediante el uso de códecs en USRP. La Metodología de desarrollo muestra claramente cómo se realizó el prototipo para la transmisión y recepción, empezando con la selección de dispositivos, el diseño, la ejecución y el análisis de los resultados obtenidos. Se basa en el estudio de las condiciones particulares en la transmisión y recepción de señal en AM digital (DRM), la implementación del transmisor en GNU Radio, la configuración del receptor en HDSDR y Dream SDR. Además de las tarjetas Ettus USRP N210, Ettus USRP B200 y RTL-SDR REALTEK RTL2832U. El resultado de este estudio fue la calidad de los niveles de servicio evaluados en la velocidad de transmisión (Kbps) y la relación señal / ruido (SNR) para determinar la fidelidad en la recepción de señales digitales. En base a los resultados se define que las características de funcionamiento de cada modo de robustez para un determinado canal de transmisión varían los valores de la velocidad de transmisión y la relación señal a ruido, ofreciendo el modo B una mejor protección de la señal con respecto al ruido, mientras que el modo A ofrece mayor velocidad de transmisión. El sistema DRM emplea las mejores tecnologías de compresión de sonido ya que usa los algoritmos de audio y voz del MPEG-4 que brinda excelente calidad de sonido a bajas tasas de bit como la codificación AAC.

PALABRAS CLAVE: <TRANSMISIÓN DE SEÑALES DIGITALES>, <AMPLITUD MODULADA (AM)>, <DIGITAL RADIO MONDIALE (DRM)>, <VELOCIDAD DE TRANSMISION>, <RELACION SEÑAL A RUIDO (SRN)>, <RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE (SDR)>.

SUMMARY

The objective was to conduct the study and analysis of the quality of service in digital transmission through the use of codecs in USRP. The development methodology defines the realization of the prototype for transmission and reception, starting with the selection of devices, the design, execution, and analysis of the results obtained. It was made the study of the particular conditions in the transmission and reception of the signal in digital AM (DRM), the implementation of the transmitter in GNU Radio, the configuration of the receiver in HDSDR and Dream SDR. In addition to the cards Ettus USRP N210, Ettus USRP B200, and RTL-SDR REALTEK RTL2832U. The result of this study was the quality of the service evaluated with respect to the transmission speed (Kbps) and the signal-to-noise ratio (SNR) to determine the fidelity in the reception of digital signals. Based on the results defined in the operating characteristics of each mode of robustness for a given transmission channel vary the values of the transmission speed and the signal-to-noise ratio, offering B mode better signal protection with respect to noise, while A mode offers higher transmission speed. Therefore, it is concluded that the DRM system uses the best sound compression technologies since it uses the MPEG-4 audio and voice algorithms that provide excellent sound quality at low bit rates with advanced audio coding (AAC).

KEYWORDS: <RADIO COMMUNICATIONS>, <DIGITAL SIGNAL TRANSMISSION>, <MODULATED AMPLITUDE (AM)>, <WORLD DIGITAL RADIO (DRM)>, <TRANSMISSION SPEED>, <NOISE SIGNAL RELATION (SNR)>, <DEFINED RADIO BY SOFTWARE (SDR)>

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La radiodifusión ha evolucionado al pasar los años, funcionando actualmente en la gama de frecuencias de FM y AM.

Las emisoras en Amplitud Modulada a 2015, estuvo distribuida de la siguiente manera: Azuay (24), Bolívar (5), Cañar (8), Carchi (7), Chimborazo (14), Cotopaxi (12), Esmeraldas (9), Galápagos (1), Guayas (64), Imbabura (13), Loja (11), Manabí (30), Morona Santiago (9), Napo (17), El Oro (22), Pastaza (5), Pichincha (71), Los Ríos (5), Sucumbíos (2), Tungurahua (27), Zamora Chinchipe (1). En Chimborazo las estaciones de transmisión son 14: Escuelas Radiofónicas Populares ERPE, Radio Promoción, Ondas del Chimborazo, Radio Mundial, Radio Colta La Voz de la Asociación, Radio El Prado, La Voz de Riobamba, Radio Central, Radio Canal Tropical, Ondas Cisnerinas, Radio Calidad, Radio Atlántida, La Voz de Guamote, La Voz de Pallatanga. (Radio América Latina, 2015).

El nivel de audiencia que posee cada una de las emisoras es un factor preponderante además del económico para seguir en funcionamiento. La calidad de la señal es otro elemento a tomar en cuenta. Es necesario replantearse cuál sería el futuro de la transmisión radiofónica, tanto para los operadores como para los organismos encargados de su control, debiendo realizar una readecuación en la forma de asignación de frecuencias de operación con un enfoque hacia lo público, privado y comunitario.

El futuro de la radio AM estará supeditado por las inversiones en tecnología acorde al formato del país adopte y sobre todo por el costo de los transmisores, así como de los receptores de señal digital.

1.1. Problema de Investigación

1.1.1. *Planteamiento del problema*

Los nuevos estándares, tecnologías y servicios harían factible la utilización de la banda de frecuencias de AM para la transmisión en formato digital, con niveles de calidad aceptable, equiparable a otras frecuencias de radio, así como de televisión.

1.1.2. *Formulación del problema*

¿La adopción de nuevos estándares, tecnologías y servicios hacen factible la utilización de la banda de frecuencias de amplitud modulada, con niveles de calidad de servicio aceptables para la transmisión digital?

1.1.3. *Sistematización del problema*

- ¿Con el Diagnóstico de las técnicas y tecnologías para la transmisión de radio en Amplitud Modulada, a través de revisión bibliográfica, permitirá conocer la calidad y usabilidad de esta banda de frecuencias?
- ¿Realizando encuestas en las comunidades rurales de Riobamba y Colta determinará los niveles de sintonía de la radio en amplitud modulada?
- ¿Con la Implementación de un sistema de transmisión de radio AM digital mediante tarjetas USRP permitirá determinar las características de las señales en condiciones controladas?
- ¿Con el diagnóstico de los niveles de calidad de servicio mediante el uso de códecs en USRP se determinará la fidelidad en la recepción de señales digitales en esta banda de frecuencias?

1.2. *Justificación de la investigación*

El espectro electromagnético es un bien no renovable, razón por la cual las frecuencias de operación son un bien cada vez más escaso. Por tal motivo es necesario mejorar tanto la distribución de frecuencias como la calidad de la señal para una correcta operación de las transmisiones. Esto se lleva a cabo con el desarrollo e implementación de nuevas técnicas y tecnologías.

Un punto clave para la comunicación fue el desarrollo de la radio, permitiendo cubrir grandes territorios con su señal. La radio tiene una estructura distinta a la de otros medios de comunicación como la televisión, considerándola más diversa y plural. Las diferencias básicas entre radio y TV es su uso publicitario específicamente en el formato, costo, enfoque y alcance. La publicidad en televisión es 50 veces más cara que la publicidad de la radio.

La radio es un medio de comunicación masivo, con servicios como noticias, entretenimiento, información, de opinión, etc. Además, fue un punto clave para el desarrollo de programas de alfabetización.

La tendencia en la actualidad respecto al uso de otros medios ha hecho que las emisoras de radio mermen poco a poco el público radioyente, siendo en mayor magnitud el espectro de amplitud modulada. Muchas emisoras que en otra hora han sido emblemáticas han cesado sus operaciones. Otro punto clave son los mecanismos utilizados para la recepción que se han modernizado, pero desplazando ciertas tecnologías, tal es el caso de la señal AM, que en gran diversidad de equipos ya no disponen del sintonizador para esta gama de frecuencias.

Estos factores impulsan a replantearse cuál sería el futuro de la transmisión por amplitud modulada, tanto para los operadores como para los organismos encargados de su control, existiendo un replanteamiento en la forma de asignación de frecuencias de operación con un enfoque hacia lo público, privado y lo comunitario.

El futuro de la radio AM estará supeditado por las inversiones en tecnología acorde al formato del país adopte y sobre todo por el costo de los receptores digitales. Varios son los formatos y técnicas probados hasta el momento para la transmisión de radio en formato digital siendo DRM¹ ya comercializada en países como la India, Sudáfrica y México, lo cual permite que aspectos como la calidad de servicio y servicios adicionales a la transmisión radiofónica los puntos a resaltar. Toma cada vez más relevancia la necesidad de llevar a cabo un estudio técnico que determine la calidad de estos sistemas

¹ DRM: Digital Radio Mondiale, www.drm.org

y permita la implementación de forma masiva estos sistemas para el beneficio de la comunidad, lo cual permite ocupar una gama de frecuencias del espacio eléctrico que cada vez es más escaso.

El espectro con uso de la tecnología digital puede crecer exponencialmente, con apertura a mayor cantidad de operadores, sin interferirse los unos a los otros como sucede en la actualidad en las grandes ciudades. La Radiodifusión sonora digital se propone como alternativa a los sistemas de radio tradicionales, como la onda corta u onda media, amplitud modulada o la frecuencia modulada, ya que además de la transmisión de audio permiten incluir varios servicios adicionales.

Gracias a la tecnología SDR² se puede diseñar prototipos a bajo coste, confiables y adaptables a diferentes necesidades. Es por esto que en la presente investigación se han analizado la posibilidad de implementar el sistema de transmisión de radio AM digital con el uso de esta tecnología existente en las tarjetas USRP N210 gracias a la multi-aplicabilidad, buscando un sistema de medición de buena potencia.

Una vez conseguido un sistema de medición estable, se desarrolla la programación en GNURadio para obtener valores de velocidad de transmisión y la relación de señal a ruido, siendo el principal objetivo recoger varias señales o mediciones en los escenarios planteados en un ambiente de laboratorio, para poder estimar la calidad de servicio de las señales transmitidas.

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

- Estudiar y Analizar la calidad de servicio en la transmisión por AM Digital mediante el uso de códecs en USRP.

1.3.2. Objetivos Específicos

² SDR: Software Defined Radio, Radio Definida por Software

Para alcanzar el objetivo general, se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- Determinar los niveles de sintonía de la radio en amplitud modulada en las comunidades rurales de Riobamba y Colta.
- Diagnosticar las técnicas y tecnologías para la transmisión de radio en Amplitud Modulada, a través de revisión bibliográfica.
- Implementar un sistema de transmisión de radio AM digital mediante USRP.
- Diagnosticar los niveles de calidad de servicio mediante el uso de códecs en USRP para determinar la fidelidad en la recepción de señales digitales.

1.4. Hipótesis

El estudio y análisis de la calidad de servicio en la transmisión AM Digital con el uso de códecs en USRP, determinará la fidelidad en la recepción de señales digitales

1.5. Delimitación

Al realizar la investigación se determinará los niveles de sintonía de la radio en amplitud modulada en las comunidades rurales de Riobamba y Colta y su contraste con las pruebas realizadas en un laboratorio de la transmisión digital, permitiendo diagnosticar los avances y mejoras tanto técnica como tecnológica y social del uso de las frecuencias en amplitud modulada.

1.6. Población de estudio:

- Comunidades de los cantones de Riobamba y Colta, para la realización de encuestas.
- Ambiente controlado en un laboratorio para la realización de la experimentación con el uso de tarjetas USRP para el diagnóstico de la fidelidad en la recepción de señales digitales.

CAPITULO II

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Breve historia de la Radiodifusión

La transmisión por ondas de radio basa sus estudios en principios matemáticos desarrollados por John Maxwell, pero fue Marconi quien plasmó en la práctica la primera radio registrando su patente el 2 de junio de 1897.

A través de la historia se han registrado varios prototipos para la manipulación de las ondas de radio. En 1800, Alessandro Volta fabricó el primer dispositivo capaz de generar corriente eléctrica, haciendo posible que otros científicos pudieran utilizarlo tales como Hans Oersted, André Ampère, Michel Faraday y Joseph Henry, realizando experimentos con electromagnetismo.

En 1860 Maxwell desarrolló una teoría que enlazaba las cargas eléctricas con el campo electromagnético. En 1887, Heinrich Hertz demostró mediante conductores y un descargador la existencia de las ondas electromagnéticas. Edouard Branly, físico francés, inventó un instrumento que permitía recibir señales de telegrafía sin hilo. El ruso Popov en 1896, tomando como referencia las investigaciones de Hertz y Branly, realizó la invención de la primera antena radioeléctrica, permitiendo de esa manera ser el primer receptor de ondas electromagnéticas.

El físico italiano Guillermo Marconi, en 1896, tomando como base las investigaciones desarrolladas por Hertz, Popov y Branly, inventó un dispositivo con la capacidad de transmitir señales de manera inalámbrica a una cierta distancia, siendo en un principio de 51 km, llegando en 1901 a atravesar todo el océano Atlántico.

Desde ese momento varias han sido las invenciones y mejoras para la transmisión de ondas electromagnéticas, permitiendo la comunicación a largas distancias, abriendo paso para la implementación de las primeras estaciones de radiodifusión.

2.2. Radiodifusión en Ecuador

Las comunicaciones a través de ondas de radio ha sido el medio de comunicación más utilizado a nivel mundial debido a la cobertura de grandes distancias que presenta. Todavía se sigue utilizando sobre todo en zonas rurales.

En Ecuador en sus inicios se utilizaba el telégrafo para cubrir largas distancias hasta la aparición del teléfono, que sirvió de medio de comunicación durante varios años hasta la aparición de la radio.

Con el desarrollo de equipos para la transmisión a través de ondas de radio, se dinamizó la comunicación. Pequeños grupos de personas denominados radioaficionados realizaban pruebas para comunicarse con otras personas a largas distancias. Pero fue la radio el Prado la pionera en emitir su señal al aire por vez primera el 13 de junio de 1929, operando en la frecuencia de 6621.055 Hz. Los equipos utilizados por esta emisora eran de baja potencia con la finalidad del envío y recepción de mensajes. Pocas eran las personas que podían acceder a este medio debido al alto costo de los receptores y la baja acogida que tenía en ese tiempo. Varias fueron las radios que se fundaron a posteriori como la radio experimental estatal HCIDR denominada HCK en 1932 transmitiendo en AM y en onda corta (OC). Radio HCJB con un transmisor en onda corta y otras que las siguieron como la Radio La Voz de Imbabura (1935), Radio Bolívar (1936) y Radio Colón (1938) que tuvieron gran acogida en los años treinta.

En los años cincuenta, gracias al desarrollo de semiconductores tuvo un cambio radical las radiocomunicaciones en el país, permitiendo el desarrollo de una gran diversidad de receptores, así como la evolución de los equipos de transmisión de cada radio para emitir las señales tanto en Onda Corta (SW), Onda Media (MW), AM y FM. Para principios de los años 60 el Ecuador ya contaba con 135 estaciones de radio.

Actualmente las estaciones de radio han disminuido sus emisiones, así como la cantidad de radioescuchas que las sintonizan, sectorizando su público oyente para radio FM en zonas urbanas y radio AM/FM en zonas rurales.

2.2.1. Espectro Radioeléctrico

El espectro radioeléctrico es un bien no renovable definido de esta manera en la constitución del 2008. Su distribución se encuentra definido en las **Tabla 1-2** y **Tabla 2-2**.

Tabla 1-2: Espectro Radioeléctrico

Margen frecuencias	Frecuencia	Longitud de Onda
3-30 kHz	VLF (Muy Baja Frecuencia)	Milimétricas
30-300 kHz	LF (Baja Frecuencia)	Kilométricas
300-3000 kHz	MF (Media Frecuencia)	Hectométricas
3000-30000 kHz	HF (Alta Frecuencia)	Decamétricas
30-300 MHz	VHF (Muy Alta Frecuencia)	Métricas
300-3000 MHz	UHF (Ultra Alta Frecuencia)	Decimétricas
3000-30000 MHz	SHF (Súper Alta Frecuencia)	Centimétricas
30-300 GHz	EHF (Extrema Alta Frecuencia)	Milimétricas
300-3000 GHz	THF (Frecuencia Tremendamente Alta)	Decimilimétricas

Realizado por: PÉREZ, Juan J. 2018

Tabla 2-2: Banda de frecuencias para Radiodifusión y regiones de la ITU

BANDA	FRECUENCIA	Región ITU
onda larga	Banda de baja frecuencia (LF Low Frequency)	148,5 KHz a 283,5 KHz región 1 de la ITU solamente
onda media	Banda de media frecuencia (MF Medium Frequency)	526,5 KHz a 1606,5 KHz regiones 1 y 3 región 2
onda corta	Bandas de alta frecuencia (HF High Frequency) o shortwave SW	2,3 MHz a 27 MHz generalmente disponible a nivel Mundial

Realizado por: PÉREZ, Juan J. 2018

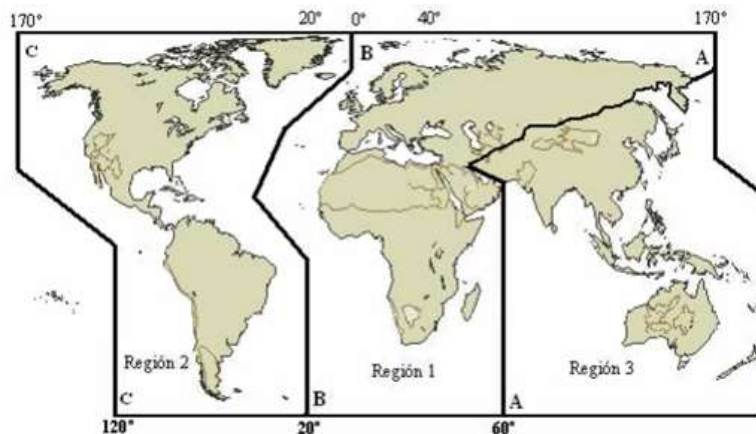


Figura 1-2. Regiones de la UIT

Fuente: (SÁNCHEZ & SAGBAY, 2013)

2.3. Transmisión analógica para Radiodifusión

Como transmisión analógica se entiende como el envío de información a través de ondas de radio. Los datos se transmiten modulando la señal por medio de una onda portadora alterando una o varias de sus características como la amplitud, la frecuencia o la fase.

2.3.1. Transmisión por Amplitud Modulada

La señal analógica ya sea voz o música se transmite al aire combinándola con una señal portadora a mayor frecuencia, generando una nueva señal. En la **Figura 2-2** Se puede observar la aplicación de esta modulación.

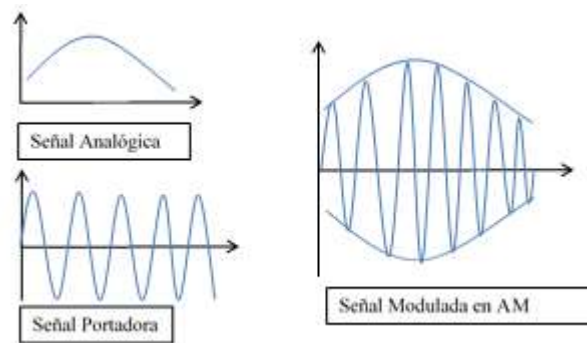


Figura 2-2. Modulación en AM

Realizado por: PÉREZ, Juan J. 2018

La banda de frecuencias a la cual se transmite la señal AM oscila entre los 535 a 1605 kHz, siendo esta la banda MF. Su uso es principalmente en zonas rurales, a través del uso de estas frecuencias se puede cubrir grandes distancias debido a la propagación de la onda superficial. Hay que recalcar que otro uso de la banda en AM es para las estaciones de onda corta, que emiten las señales de radios internacionales con cobertura mundial, es debido a la propagación ionosférica propio de las ondas celestes.

En la actualidad, en Ecuador las señales portadoras en AM el ancho de banda es de 10 kHz, estableciendo 118 canales se pueden en toda la banda. Estos parámetros son impuestos por la ITU³, haciendo que sea mala la calidad de audio, además que es susceptible al uso de motores y la estática. (STREMLER, 1990)

³ ITU: International Telecommunication Union

2.3.2. *Propagación de la señal en Amplitud Modulada.*

La propagación de las señales de radiodifusión terrestres en baja, media y alta frecuencia por debajo de los 30 MHz se la puede realizar de las siguientes formas:

Propagación por onda de superficie: se aplica este tipo de propagación para bandas de frecuencias bajas y medias, hasta los 8 MHz cubriendo distancias de hasta 1000 Km. Las longitudes de onda son muy grandes lo que permite que la señal se transmita siguiendo la curvatura de la Tierra, superando incluso obstáculos como montañas.

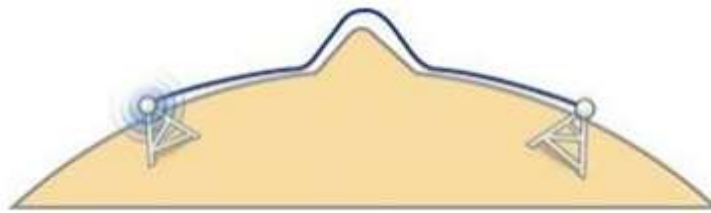


Figura 3-2. Propagación por ondas de superficie

Fuente: <https://www.analfatecnicos.net/pregunta.php?id=14>

Propagación por onda ionosférica: se aplica este tipo de propagación para bandas de frecuencias medias y altas, cubriendo distancias de hasta 12000 Km.

La ionosfera es la capa atmosférica que cubre desde los 50km los 500km de altura. Las señales de radio que llegan a esta capa son reflejadas o la atraviesan, debido a los iones presentes.

Las frecuencias en las cuales sucede este fenómeno son las comprendidas entre 1.5MHz y los 30MHz. Señales menores a los 1.5MHz se atenúan, siendo absorbidas por dicha capa, mientras que las señales por encima de los 30MHz la atraviesan.

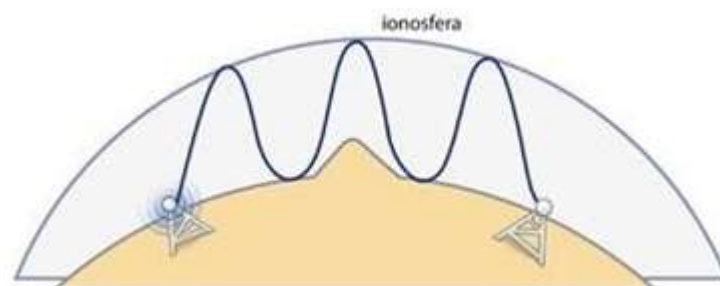


Figura 4-2. Propagación por ondas ionosféricas

Fuente: <https://www.analfatecnicos.net/pregunta.php?id=14>

2.4. Transmisión Digital para Radiodifusión

La transmisión digital consiste en enviar datos en forma de señales digitales, siendo necesario que las señales analógicas se digitalicen primero antes de ser transmitidas, esto es en forma de ceros y unos.

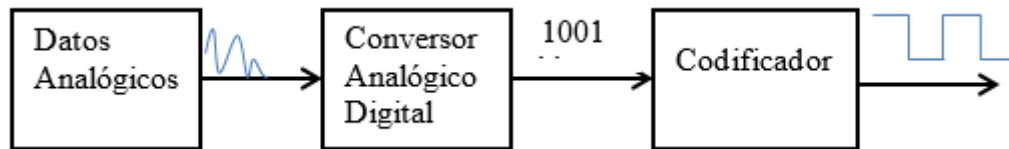


Figura 5-2. Transmisión digital

Realizado por: PÉREZ, Juan J. 2018

Al hablar de comunicaciones digitales incluyen varias técnicas entre las cuales se incluyen la transmisión digital y la radio digital. La primera es la transmisión de pulsos digitales, entre dos o más puntos, de un sistema de comunicaciones. La radio digital es la transmisión de portadoras analógicas moduladas, en forma digital entre, dos o más puntos de un sistema de comunicación. Los sistemas de transmisión digital requieren medios guiados y los sistemas de radio digital requieren medios no guiados. (TOMASI, 2003)

La fuente de información en un sistema de transmisión digital puede ser en forma analógica o en forma digital. Si es de origen analógico, es necesario convertirla a pulsos digitales, previo a la transmisión, a su vez en la recepción se debe convertirla a analógica nuevamente. En un sistema de comunicación digital, la señal de entrada y la señal modulada son en pulsos digitales. (LATHI, 1993)

En los sistemas de transmisión convencionales se usan portadoras analógicas, de la misma forma como se desarrolla en radio digital. Para tal efecto se utilizan tres técnicas de modulación digital, estas son: FSK, PSK, QAM. (LATHI, 1993)

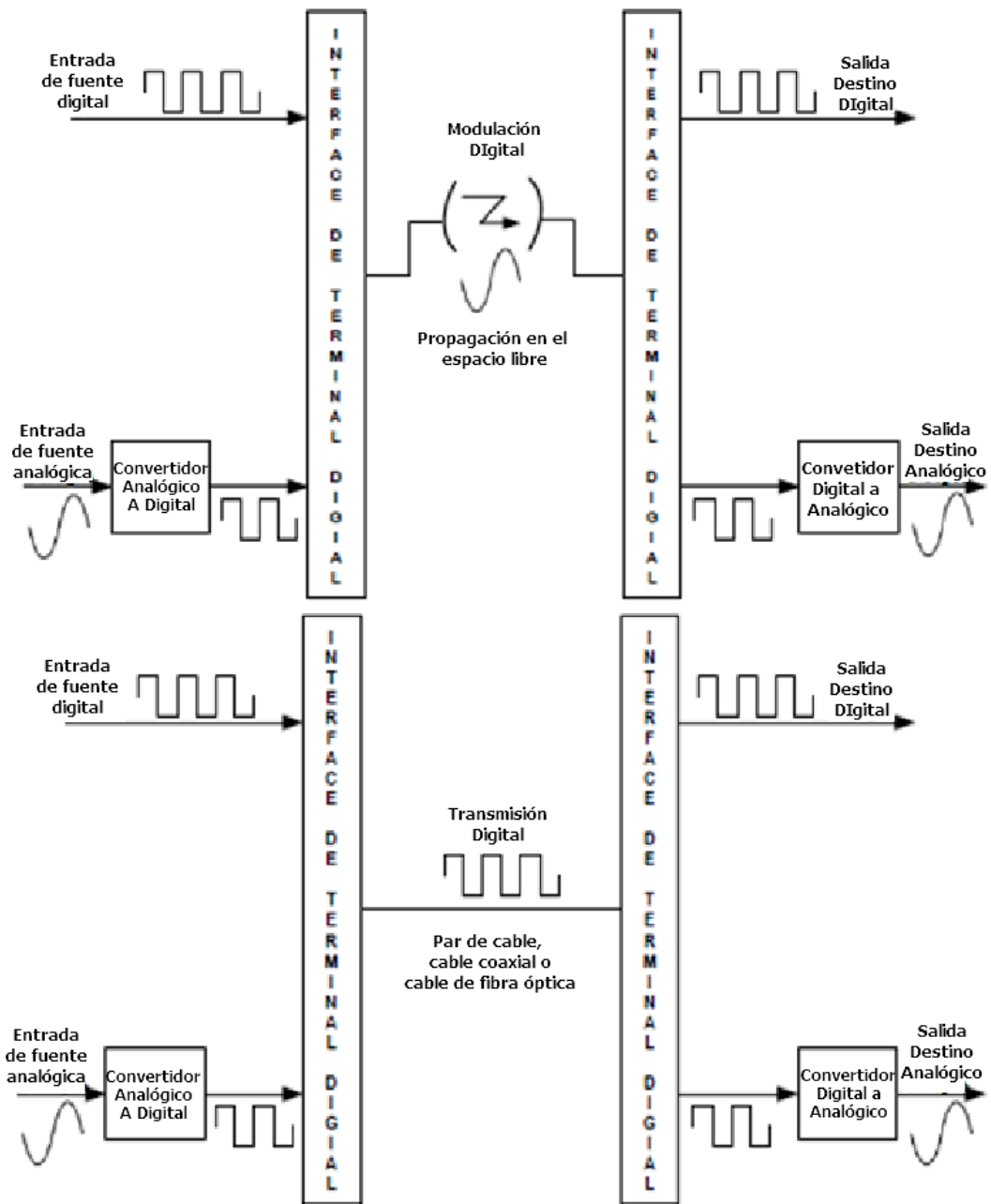


Figura 6-2. Sistema de comunicación digital

Fuente: (LATHI, 1993)

2.4.1. Estándares De Transmisión De Radio Digital

La transmisión de Radio digital surge con el objetivo de transmitir señales de audio con una calidad de sonido mejor de forma abierta y gratuita. Existen tres sistemas de radiodifusión sonora digital:

- IBOC (in-band-on-channel), actualmente denominado HD Radio.
- DAB (Digital Audio Broadcasting), desarrollado como parte de los proyectos Eureka 147.
- DRM (Digital Radio Mondiale)

2.4.1.1. *IBOC*

IBOC son las siglas de “in band on channel”, conocida comercialmente como HD Radio en Estados Unidos, es la tecnología de radio digital desarrollada por la compañía iBiquity Digital Corporation, permite a las estaciones de radiodifusión FM transmitir la misma información de manera analógica, así como digital dentro del mismo espectro de frecuencias asignado. (SALINAS, 2011)

La Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU, define dos estándares internacionales para la transmisión de señal digital tanto para AM como para FM, en 2001 aprueba al sistema IBOC AM [BS.1514], y en 2002, aprueba al sistema IBOC FM [BS.1114]. En ese mismo año Estados Unidos aprueba la implementación del estándar y se lanza la marca comercial HD Radio, de la compañía Ubiquity, para cubrir este mercado. (SALINAS, 2011)

El sistema de radiodifusión digital IBOC ha sido adoptado por varios países como Estados Unidos, Puerto Rico y las Filipinas que ya tienen una operación a nivel nacional; México y Panamá cuya operación es regional; Jamaica, República Dominicana, Ucrania, Tailandia e Indonesia con operación limitada; por último, Canadá, Colombia, Chile, Uruguay, Argentina, China, India, Brasil y Vietnam se encuentran en etapa de pruebas. (SALINAS, 2011)

2.4.1.2. *DAB*

Eureka 147, también conocido como DAB son las siglas de “Digital Audio Broadcasting”, estándar desarrollado para mejorar la calidad de audio en la recepción móvil en particular la de vehículos, las características principales de este estándar es que permite que en diferentes áreas de cobertura se sintonice la señal de mejor calidad además de que en un solo canal se transmitan 9 servicios diferentes de audio. (SALINAS, 2011)

El proyecto Eureka fue definido por la ITU como estándar para la radiodifusión digital terrestre en las bandas de VHF y UHF. DAB originalmente tenía como base MPEG2 para la codificación de audio, pero al ser susceptible al ruido adopta MPEG4 o HE-AAC como codificación, renombrándolo como DAB+. Otra adaptación del sistema original fue DMB que permite transmitir tanto audio, datos, así como video en un mismo canal, permitiendo que estas tres tecnologías se utilicen en una misma infraestructura y en una misma transmisión multiplex. (SALINAS, 2011)

Varios países alrededor del mundo han adoptado el sistema DAB+, entre los cuales se tiene: Corea, Alemania, Malta, Australia, además de Italia, Suecia, República Checa, Holanda, Malasia y China que se muestran interesados en adoptar este nuevo estándar. (SALINAS, 2011)

2.4.1.3. *DRM*

El estándar DRM se transmitió por primera vez en el año 2003, se definió como estándar DRM30 en el año 2005 para frecuencias menores a 30MHz. En el año 2009 se añade el soporte para las bandas comprendidas entre los 30MHz y los 174MHz denominándolo como DRM+. Con estas características DRM cubre todo el espectro de transmisiones de radiodifusión, esto además de ser una implementación de código abierto es una de las principales ventajas con respecto a otros estándares ya implementados en el mercado. DRM30 y DRM+ se desarrollaron para coexistir con las actuales tecnologías de transmisión analógica. (SÁNCHEZ & SAGBAY, 2013)

DRM mantiene la misma canalización que para la AM actual, cubriendo la misma zona geográfica con un ahorro significativo tanto en potencia, así como en consumo de energía, pudiendo utilizar las mismas instalaciones de transmisión actuales de AM analógica.

Permite además el reúso de frecuencias mediante la aplicación de SFN o redes de frecuencias únicas, haciendo que la distribución y asignación de frecuencias se realice más eficientemente y con la posibilidad de transmitir en simultáneo tanto la señal analógica como la digital. Además de la señal de voz se puede hacer uso de servicios complementarios para la transmisión de radiodifusión digital:

- MOT (Multimedia Object Transfer Protocol).
- Imágenes: JPEG, GIF, JFIF y BMP.
- Texto.
- Multimedia: MPEG, Java. (SÁNCHEZ & SAGBAY, 2013)

2.5. DRM - Digital Radio Mondiale

El sistema DRM está diseñado para utilizarse en cualquier frecuencia debajo de los 30 MHz, es decir dentro de las bandas de transmisión de onda larga o baja frecuencia LF, onda media o media frecuencia MF y onda corta o de alta frecuencia HF, con las limitaciones de canalización y las variables condiciones de propagación a lo largo de estas bandas. Para la radiodifusión en FM en el rango de frecuencias de 30 MHz a 174 MHz, de la banda de Frecuencias Muy Altas (VHF, Very High Frequency) se especifica el estándar DRM+ para la transmisión de señales digitales. (SALINAS, 2011) (SÁNCHEZ & SAGBAY, 2013)

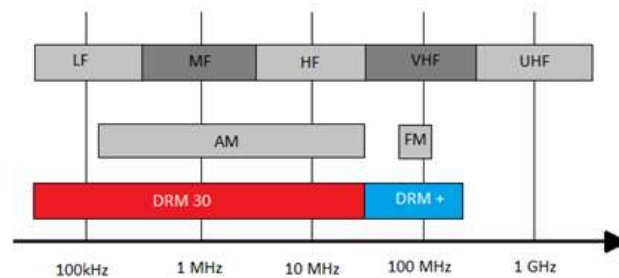


Figura 7-2. Bandas de uso del sistema DRM

Realizado por: PÉREZ, Juan J. 2018

2.5.1. Descripción general del sistema.

El sistema DRM está diseñado para ser usado en cualquier frecuencia debajo de los 30 MHz, es decir dentro de las bandas de transmisión de onda larga, onda media y onda corta, con las limitaciones de canalización y las variables condiciones de propagación a lo largo de estas bandas. Están disponibles diferentes modos de transmisión que satisfacen estas limitaciones de operación. Cada modo se define por parámetros de transmisión clasificados en dos tipos:

- Parámetros relacionados con el ancho de banda de la señal.
- Parámetros relacionados con la eficiencia de transmisión.

Ambos parámetros influyen en el diseño del estándar DRM y la designación de las diferentes etapas que conforman su arquitectura.

2.5.1.1. *Parámetros Relacionados con el Ancho de Banda de la Señal*

El estándar DRM permite operar en un ancho de banda de 10kHz y de 9kHz para frecuencias menores a 30MHz, pero es posible operar tanto a la mitad de esos anchos de banda, a 5kHz o 4.5kHz, para la transmisión simultánea con señales AM analógicas, así como al doble del ancho de banda, a los 20kHz y 18kHz, si así es requerido. (ETSI, 2009)

2.5.1.2. *Parámetros Relacionados con la Eficiencia de Transmisión*

Independientemente del valor que tengan los parámetros de ancho de banda, los parámetros de la eficiencia de transmisión ofrecen una robustez frente al ruido, al multitrayecto, al efecto Doppler y un bitrate mejorado. Todo esto es factible a través de la configuración de algunas características presentes en las señales digitales, las cuales se detalla a continuación:

- Tasa de codificación y parámetros de constelación,
- y conjunto de parámetros de los símbolos OFDM. (ETSI, 2009)

Tasas de Código y Constelaciones

El estándar DRM proporciona varias alternativas para alcanzar distintos niveles de protección en las transmisiones. Los niveles de protección se determinan por tres parámetros:

- El orden de la constelación QAM, que representa la señal en el plano complejo en los términos de amplitud y fase.
- El uso de una modulación jerárquica, que se utiliza para enviar dos tramas diferentes de datos (alta protección y baja protección) en una sola trama de información.
- La tasa de código del codificador de canal, que se define como la porción útil (no redundante) de la transmisión de datos. (ETSI, 2009)

En cada uno de los canales del estándar DRM se puede modificar los parámetros como el tipo de constelación QAM y las tasas de código, como se muestran en la **Tabla 3-2**.

Tabla 3-2. Tasas de Código y Constelaciones para los Canales DRM.

Canal	Constelación	Tasas de Código
FAC	4 QAM	0.6
SDC	4/16 QAM	0.5
MSC	16 QAM	0.5/0.62
	64 QAM	0.5 / 0.6 / 0.71 / 0.78

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Como esquema de modulación se usa QAM, ver **Figura 8-2**. La cantidad de puntos de señal depende de las configuraciones posibles: 4, 16 o 64. Para 64-QAM hay dos esquemas de modulación jerárquica disponibles. Estos esquemas introducen otro nivel de protección contra errores que divide el flujo de bits en una Parte Protegida Estándar (SPP) y una parte muy fuertemente protegida (VSPP). DRM no utiliza el mapeo de Gray. Especialmente al cruzar el eje real o imaginario, se invierten múltiples bits.

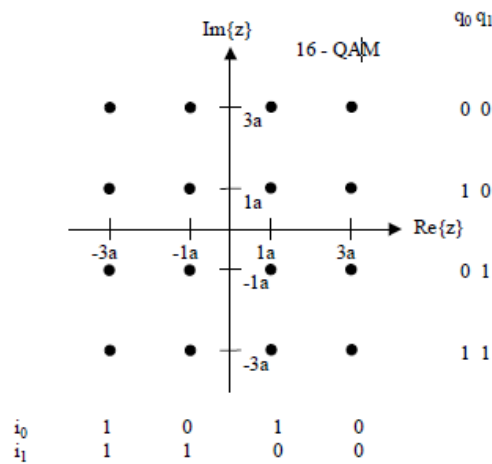


Figura 8-2. Diagrama de constelación para 16-QAM

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Conjunto de Parámetros OFDM

Estos parámetros son definidos por distintas condiciones de transmisión que permiten operar en varios modos de robustez para la señal. Para un ancho de banda dado, diferentes modos de robustez proveen diferentes tasas de datos disponibles. En la **Tabla 4-2** se aprecian los modos de robustez y sus condiciones típicas de propagación. (ETSI, 2009)

Tabla 4-2: Modos de Robustez de DRM y sus Condiciones de Propagación.

Modo de Robustez	Condiciones Típicas de Propagación	Ancho de Banda (kHz)	Bandas Empleadas
A	Canales gaussianos con poco desvanecimiento.	4.5, 5, 9, 10, 18, 20	LF y MF
B	Canales selectivos de tiempo y frecuencia con dispersión Doppler.	4.5, 5, 9, 10, 18, 20	MF y HF
C	Como en modo B, pero con una mayor dispersión Doppler.	10, 20	HF
D	Como en modo B, pero con una severa dispersión Doppler y retardo.	10, 20	HF
E	Canales selectivos de tiempo y frecuencia.	100	VHF

Fuente: (ETSI, 2009)

Los parámetros OFDM dependen del ancho de banda disponible, el número de portadoras y su localización con respecto a una frecuencia de referencia. El ancho de banda nominal del canal está definido por la Ocupación del Espectro, como se indica en la **Tabla 5-2**.

Tabla 5-2: Ocupación del Espectro en DRM.

	Modo de Funcionamiento	Ocupación del Espectro					
		0	1	2	3	4	5
Ancho de Banda del Canal (kHz)	Modos A, B, C y D	4.5	5	9	10	18	20
	Modo E	100	-	-	-	-	-

Fuente: (RAMIREZ, 2015)

2.5.2. *Arquitectura del Estándar DRM*

La **Figura 9-2**, representa las etapas de la arquitectura de DRM para el transmisor, los cuales son descritos a continuación. (ETSI, 2009)

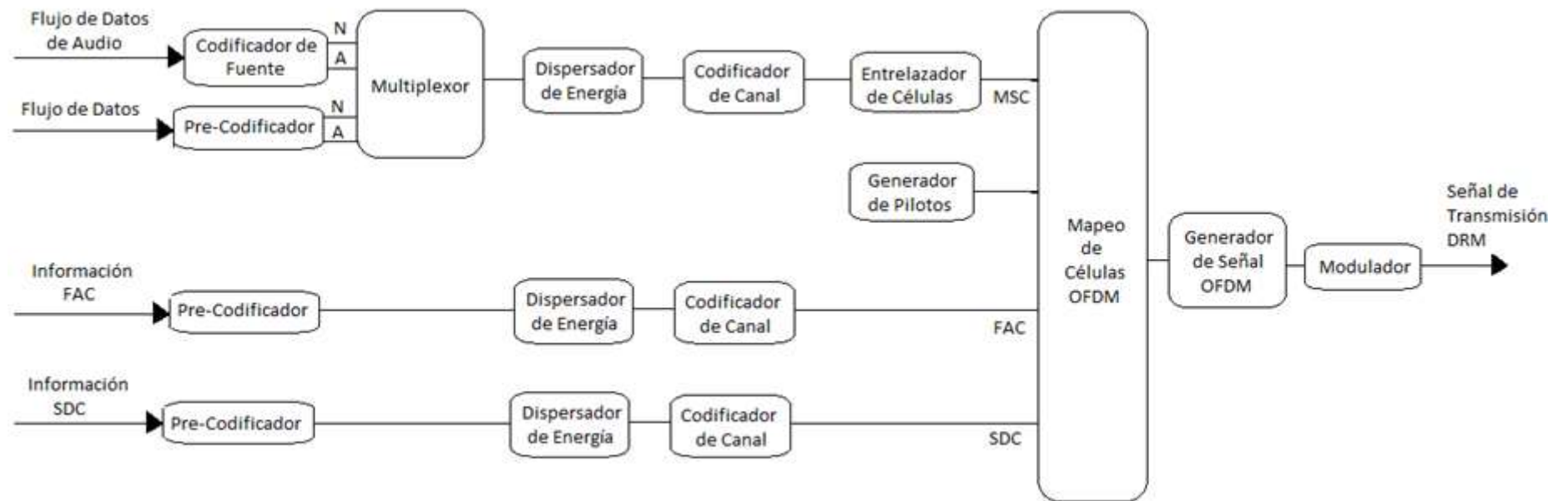


Figura 9-2. Diagrama de Bloques del Sistema DRM

Fuente: (ETSI, 2009)

A la entrada del diagrama se tiene dos tipos de información:

- Audio y datos codificados que se combinan en el multiplexor de servicio principal, con diferentes relaciones de protección.
- Canales de información denominados Canal de Acceso Rápido (FAC) y Canal de Descripción del Servicio (SDC) que no ingresan al multiplexor.

El codificador de fuente y los pre-codificadores aseguran la adaptación de las tramas de entrada a una transmisión digital apropiada. Para el caso de la fuente de audio ésta funcionalidad incluye técnicas de compresión. La salida del codificador de fuente y la trama de datos pre-codificada pueden ser comprimidas en dos partes con distintos niveles de protección dentro del codificador de canal subsecuente. Sin embargo, todos los servicios tendrán que usar los mismos dos niveles de protección.

El multiplexador combina los niveles de protección de los servicios de datos y de audio.

2.5.2.1. *Codificación de Fuente*

La codificación de fuente debe tener una eficiencia muy alta para de esta forma lograr una buena calidad de audio. Basados en varias pruebas realizadas por el consorcio DRM en conjunto con MPEG, se escogió los algoritmos de codificación de voz y de audio pertenecientes al estándar MPEG-4, que ofrece una óptima calidad de sonido a tasas de bit definidas. En este contexto, tasa de bits es el número de bits a ser transmitidos por una unidad de tiempo. (ETSI, 2009)

Los esquemas de codificación de fuente usados en DRM son los siguientes:

- El subconjunto MPEG-4 AAC, que incluye herramientas de robustez contra errores para transmisiones en audio mono y estéreo.
- El subconjunto de MPEG-4 CELP, que codifica muestras de voz para así tener una mayor robustez en la transmisión de voz en mono, usado en los casos cuando se necesita una baja tasa de bits o se necesita alta robustez a los errores.
- El subconjunto de MPEG-4 HVXC, que codifica muestras de voz para tasas de bits muy bajas, lo que provee alta robustez a errores de transmisión de voz en mono.

Una herramienta usada por MPEG-4 es la SBR o Replicación de Banda Espectral SBR, sirve para dar una mejora a la codificación de audio, en especial con bajas tasas de bits. El algoritmo compresor de MPEG-4 realiza la transmisión de las frecuencias más bajas en tanto que el SBR reconstruye las altas frecuencias partiendo de información dada por el rango de frecuencias ya comprimido. Un complemento del SBR es el Estéreo Paramétrico (PS) que permite una codificación estéreo a bajas tasas de bits. (DIETZ & MLASKO, 2000)

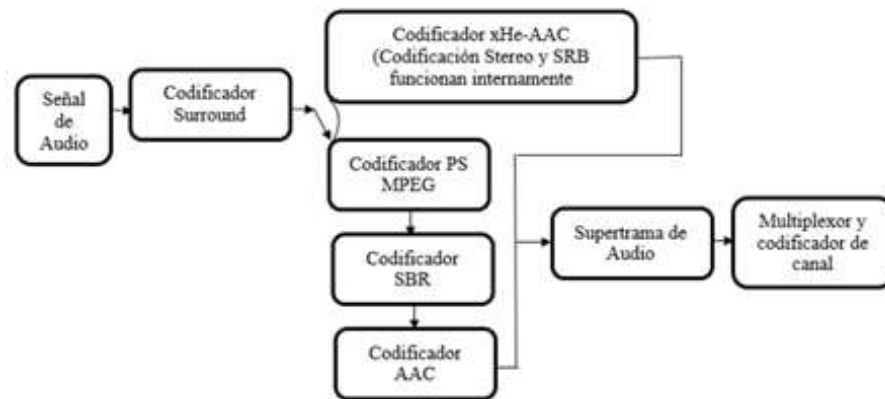


Figura 10-2. Codificador de fuente DRM

Fuente: (ETSI, 2009)

El estándar DRM utiliza el formato AAC⁴ para comprensión y codificación de audio el cual consta de dos modos: AAC y xHE-AAC. Estos modos se combinan con las herramientas SBR⁵ y PS⁶ con el objetivo de obtener una comprensión de mayor calidad. En la **Figura 10-1** se muestra el diagrama de bloques para un codificador de fuente del estándar DRM. (ETSI, 2009)

Codificador de Audio AAC

Este codificador se volvió un estándar internacional en 1997, ofreciendo un desempeño superior para tasas de bits mayores a 64 kbps y menores a 16 kbps. Es el primero en cumplir en su totalidad con la norma ITU-R/EBU para calidad a 128 kbps en estéreo. Sus características específicas para el sistema DRM son:

⁴ AAC: Advanced Audio Coding

⁵ SBR: Spectral Band Replication

⁶ PS: Parametric Stereo

- Tasa de bits: Para los modos A, B, C, y D usa una tasa de bits de 20 bps y para el modo E una de 80 bps.
- Tasas de muestreo: Para los modos A, B, C, D las tasas son de 12 kHz y 24 kHz, mientras que para el modo E son de 24 kHz y 48 kHz.
- Longitud de la transformada de coseno modificada: La longitud de la transformada utilizada es de 960 muestras, para así asegurar que una trama de audio corresponda a 80 ms o 40 ms (modos A, B, C, D), o 40 ms o 20 ms (modo E).
- Supertrama de audio: 5 o 10 tramas de audio componen una supertrama, esto permite tener un número entero de tramas de audio para construir supertramas de audio de 400 ms (modos A, B, C, D) o 200 ms (modo E).
- Protección de error desigual (UEP): Aplicando este tipo de protección se obtiene una mejor tasa de error de bit (BER) en el flujo de bits AAC. El BER⁷ se define como el número de bits recibidos de manera errónea. UEP⁸ se realiza mediante una multiplexación de las unidades codificadas. (ISO/IEC, 2006)

Codificador AAC Extendido de Alta Eficiencia (xHE-AAC)

MPEG a inicios de 2012 presentó el estándar para el códec de la familia AAC, proporcionando una mejoría en la calidad de audio y voz a tasas de datos muy bajas (8 kbps). Las funcionalidades útiles en el estándar DRM son:

- Tasa de bits: Para los modos A, B, C, y D se utiliza una tasa de bits de 20 bps, mientras que para el modo E utiliza 80bps.
- Tasa de muestreo: Soporta tasas de muestreo de 48kHz para señales de audio.
- Supertramas de audio: permiten garantizar la mejor calidad de audio posible especialmente a bajas tasas de bits. Las supertramas de audio son de un tamaño constante, mientras que el número de tramas de audio que ésta contenga no siempre lo será. Una supertrama de audio es colocada en una trama lógica DRM para los modos A, B, C, D y dos supertramas para el modo E.
- Protección de error desigual (UEP), la cual define un sistema basado en dos niveles distintos de codificación y no es usada en este códec. (ETSI, 2009)

⁷ BER: tasa de error de bit

⁸ UEP: Protección de error desigual

2.5.2.2. Herramientas Auxiliares para Codificación

Replicación de Banda Espectral (SBR)

Los algoritmos de codificación necesitan limitar el ancho de banda para poder operar a bajas tasas de muestreo y tener un alto rendimiento de transmisión, esto se logra con la SBR⁹.

Esta técnica permite recuperar las bandas de alta frecuencia de la señal de audio que pudieron ser eliminadas por el algoritmo codificador al momento de la compresión. Una porción de información de guía de la señal se debe transmitir en el flujo de bits de audio, para recuperar las frecuencias perdidas, reduciendo la velocidad de codificación. La información de guía es calculada con el ancho de banda total de la señal de audio antes de la codificación con lo que se pueden recuperar las bandas de alta frecuencia antes de la decodificación. Este proceso es ilustrado en la **Figura 11-2**. (ETSI, 2009)

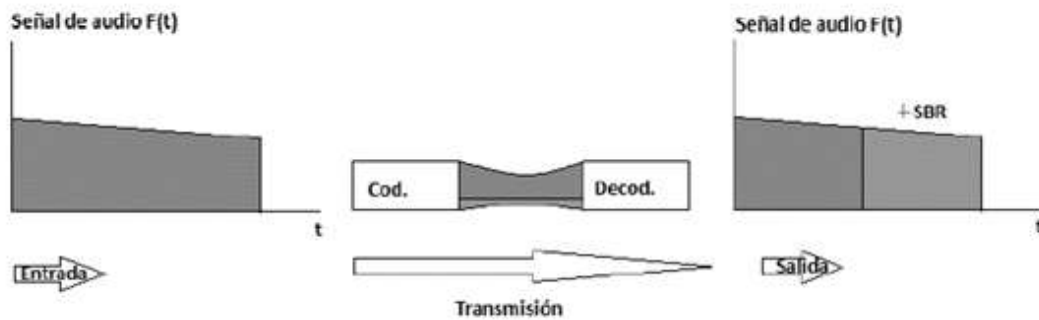


Figura 11-2. Funcionamiento de la Replicación de Banda Espectral (SBR)

Fuente: (ETSI, 2009)

Codificación Estéreo Paramétrico (PS)

Esta técnica es utilizada para mejorar el rendimiento de la codificación estéreo a tasas de bits bajas. Envía una imagen estéreo que describe los datos de información guía en conjunto a la señal mono downmix. La información es consistente y tan solo es necesario una fracción pequeña de la tasa de bits total. La síntesis del estéreo en el decodificador reconstruye propiedades espaciales, pero no afecta a la energía total del espectro.

⁹ SBR: replicación de la banda espectral

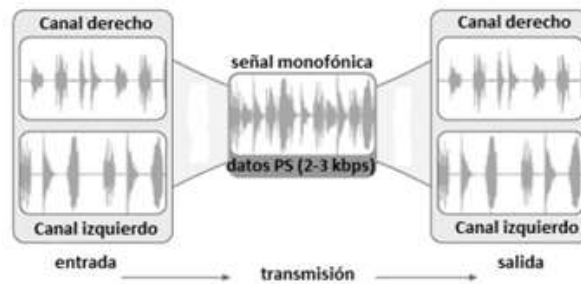


Figura 12-2. Transmisión de Estéreo Paramétrico (PS)

Fuente: (ETSI, 2009)

Si la difusión contiene datos PS la respectiva herramienta especificada en MPEG-4 audio debe ser usada. En la **Figura 12-2** se ilustra la transmisión de este codificador: (ETSI, 2009)

2.5.2.3. *Supertramas de Audio*

Las tramas lógicas usan una tasa de bits constante en el estándar DRM para cualquier combinación de parámetros. La codificación AAC y xHE-AAC generan tramas que tienen longitudes variables que se agrupan en una supertrama de tamaño constante, que, el estándar DRM lo aplica para que los modos A, B, C, y D la supertrama de audio se mapee directamente en la trama DRM lógica debido a que contienen la misma longitud. No siendo así para el modo E, ya que éste mapea la supertrama en dos tramas lógicas DRM.

Protección Desigual de Errores (UEP)

Esta protección es utilizada para la codificación AAC con el fin de proporcionar una mayor protección a las partes más sensibles del audio y una menor protección a las partes menos sensibles. Por lo tanto, el audio codificado se debe dividir en estos dos bloques de alta y baja protección.

Chequeo por Redundancia Cíclica (CRC)

La implementación de códigos CRC¹⁰ permiten la detección de errores transmitidos en el receptor, por lo que palabras CRC se deben transmitir con los datos enviados. El procedimiento es el siguiente:

¹⁰ CRC: Chequeo por Redundancia Cíclica.

Se define un código CRC a partir del polinomio generador de grado n:

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

Con $n \geq 1$ y $g_i \in \{0,1\}, i = 1 \dots n - 1$ **Ecuación 2-2**

Para un código de 8 bits el polinomio generador es el siguiente:

$$G_8(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + x^1 + 1 \quad \text{Ecuación 3-2}$$

Los registros son inicializados a 1, luego de aplicar el bit más significativo (MSb) al bloque de datos de entrada el registro de cambio desplaza el contenido a la siguiente etapa, mientras carga los siguientes estados con el resultado de las respectivas operaciones XOR.

El proceso se repite hasta el bit menos significativo (LSb), donde finalizará la operación y se obtendrá la palabra CRC, la misma que debe ser invertida (complemento de 1) antes de ser transmitida. (GIL PEÑAFIEL & SANTILLÁN SACOTO, 2015)

El cálculo de la palabra CRC se lo realiza mediante un registro de desplazamiento de n etapas, el cual es ilustrado en la **Figura 13-2**. (ETSI, 2009)

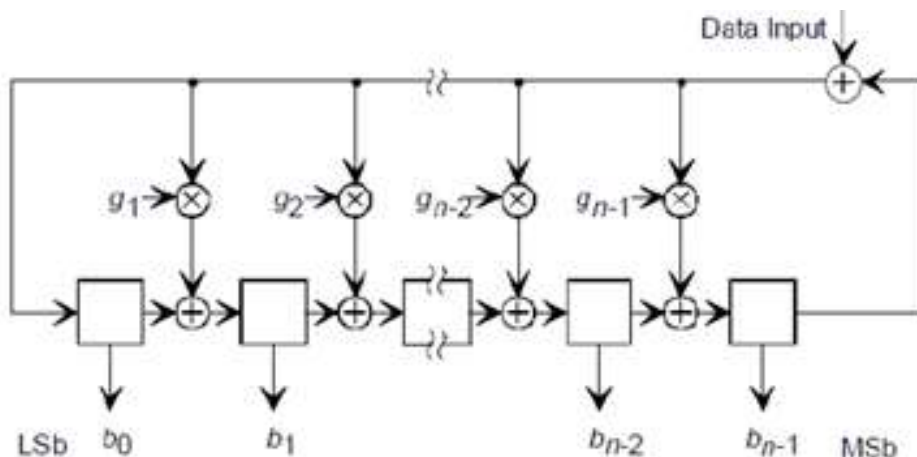


Figura 13-2. Diagrama general para el chequeo por Redundancia Cíclica (CRC)

Fuente: (ETSI, 2009)

2.5.2.4. Proceso de Codificación AAC (Advanced Audio Coding)

ISO/IEC 14496-3 define el estándar MPEG-4 para codificación de audio en el cual se encuentra el estándar para el codificador AAC. El estándar DRM utiliza la herramienta de robustez contra errores AAC, para un perfil de audio de alta calidad. Esta herramienta contiene tres tipos de robustez contra errores:

- Reordenación de palabras de código Hoffman (HCR).
- Libros virtuales de código (VCB11).
- Longitud de código variable reversible (RVLC). (ISO/IEC F. 1.-3., 1999)

Dentro del estándar DRM todos los flujos de bits deben usar HCR ya que reduce significativamente la sensibilidad a errores. El tamaño de la transformada debe ser de 960 muestras para encajar correctamente el flujo de bits a la trama multiplexada. Para los modos A, B, C y D:

- Cuando se usa una tasa de muestreo de 12kHz, 5 tramas AAC se deben combinar en una supertrama de audio.
- Cuando se usa una tasa de muestreo de 24kHz, 10 tramas AAC se deben combinar en una supertrama de audio. Esta tasa de muestreo debe ser usada cuando está activado el modo estéreo. (ETSI, 2009)

Para el modo E:

- Cuando se usa una tasa de muestreo de 24kHz, 5 tramas AAC se deben combinar en una supertrama de audio.
- Cuando se usa una tasa de muestreo de 48kHz, 10 tramas AAC se deben combinar en una supertrama de audio. Esta tasa de muestreo debe ser usada cuando está activado el modo estéreo.

En modo estéreo el canal derecho e izquierdo es transmitido entrelazados entre ellos con el fin de reducir la sensibilidad al error de la trama estéreo. El estándar MPEG-4 define como se almacenan los bits para la trama de audio AAC. (ISO/IEC F. 1.-3., 1999)

La Supertrama DRM

La supertrama DRM se compone por una cabecera, una parte con protección alta, una con protección baja, cuando se utiliza el perfil UEP y la verificación de redundancia cíclica (CRC).

Cabecera

Contiene la información del tamaño de las tramas almacenadas en la supertrama de audio. Todas las longitudes se derivan de la posición absoluta de los bordes de las tramas, donde cada borde de trama es almacenado usando 12 bits (entero sin signo). Los bordes están medidos en bytes desde el inicio de la secuencia del flujo de bits, 4 bits de relleno son añadidos de ser necesario.

Bloque de Alta Protección

Un bloque de alta protección puede contener una cierta cantidad de bytes desde el inicio de cada trama AAC, dependiendo del perfil UEP (protección desigual de error) seguido de una verificación por redundancia cíclica (CRC) de 8 bits.

Bloque de Baja Protección

Estos bytes de la trama AAC se encuentran almacenados consecutivamente a la parte con alta protección. La **Figura 14-2** ilustra una supertrama con 10 tramas de audio. (ETSI, 2009)

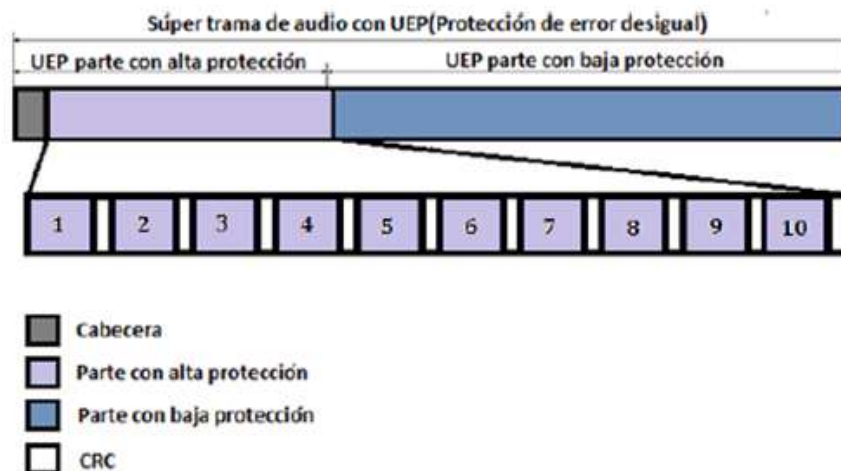


Figura 14-2. Supertrama DRM

Fuente: (ETSI, 2009)

2.5.2.5. AAC + SBR

El codificador AAC por sí solo no alcanza una alta calidad de audio por lo que se debe usar la herramienta SBR, especificada en el estándar MPEG-4 de audio, cuya tasa de transmisión es el doble de la del codificador. (ISO/IEC F. 1.-3., 1999)

Los datos SBR están localizados al final de la trama y su primer bit se encuentra al final de la misma, es decir sus datos se encuentran invertidos, por lo que es fácil localizar y leer. En la **Figura 15-2** se encuentra ilustrada esta trama. (ETSI, 2009)

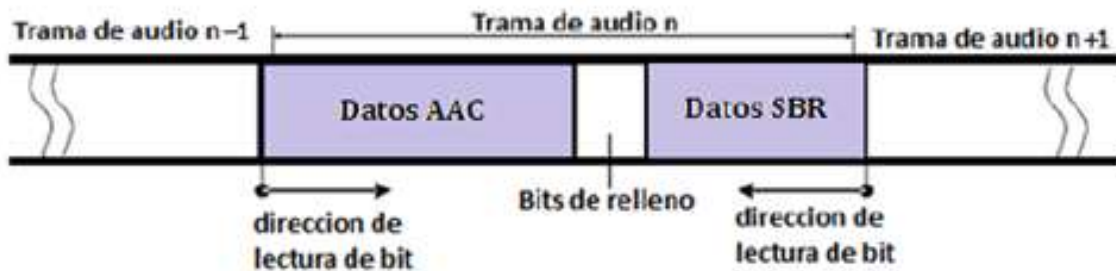


Figura 15-2. Trama AAC+SBR

Fuente: (ETSI, 2009)

SBR toma el audio que se encuentra en las frecuencias más altas, los cuales pueden ser:

- Ruido (sonidos agudos).
- Periódicos (sonidos de trasfondo en voz o armónicos).
- El proceso antes mencionado analiza las bandas superiores de frecuencia, y prepara información guía basándose en esto. Posteriormente, el codificador extrae la banda superior y procede a realizar la codificación del audio.

El receptor realiza un proceso inverso, se reconstruye la banda superior partiendo de la información lateral transmitida y la une con la señal decodificada. De esta forma se consigue una calidad de audio superior a la que se obtendría utilizado únicamente el codificador AAC.

2.5.2.6. *Ocultamiento de Error en AAC*

Hay varias técnicas para corrección de errores, así como técnicas de verificación si existió alguna falla en la transmisión de información. Si estas técnicas no funcionan se aplica el ocultamiento de forma similar de que si existieran datos de trama corruptos.

El ocultamiento se aplica en los datos espectrales antes de convertirlos hacia el dominio del tiempo. Si solo una trama es dañada, esta técnica interpola la trama anterior y la siguiente creando datos espectrales para la trama perdida.

2.5.2.7. Multiplexación

DRM multiplexado es la trama a ser transmitida, la cual se compone por tres canales: MSC¹¹ llamado así por sus siglas en inglés, para datos de los servicios; FAC¹² proporciona datos sobre el ancho del canal y parámetros que ofrecen la selección de información para un escaneo rápido de la transmisión y; SDC¹³ que proporciona información de cómo decodificar el MSC, como encontrar fuentes alternativas a los mismos datos y da los atributos de los servicios con el multiplexado. (ETSI, 2009)

Main Service Channel (MSC)

Este canal contiene los datos de todos los servicios contenidos en el multiplexado DRM, puede llevar de 1 a 4 servicios los cuales pueden ser de datos o audio. Estos servicios pueden ser transmitidos tanto de forma síncrona como asíncrona. La tasa de bits de transmisión de este canal depende del ancho de banda elegido en cada modo de transmisión.

Estructura del MSC

Abarca entre 1 y 4 flujos de datos, cada uno de ellos se divide en tramas lógicas. Los flujos de audio pueden contener audio comprimido y, como una opción, mensajes de texto. Los flujos de datos se componen por paquetes de datos que llevan información de máximo 4 sub-flujos.

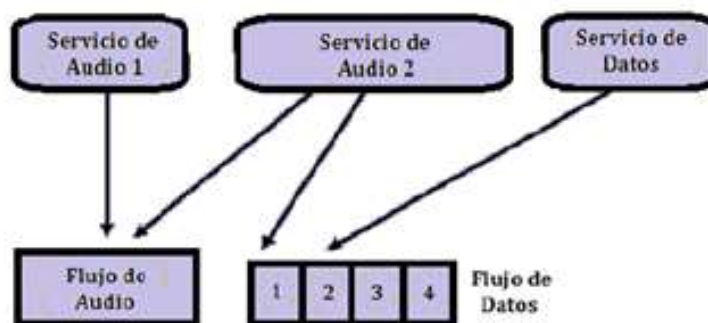


Figura 16-2. Servicios del Main Service Channel (MSC)

Fuente: (ETSI, 2009)

¹¹ MSC: Main Service Channel - canal de servicio principal

¹² FAC: Fast Access Channel - canal de acceso rápido

¹³ SDC: Service Description Channel - canal de descripción de servicio

Un servicio de audio se compone de un flujo de audio y como opción de 1 a 4 flujos o sub-flujos de datos. Un servicio de datos se puede componer de un flujo o sub-flujo de datos, en la **Figura 16-2** se ilustra la manera en la que pueden formarse estos servicios. (ETSI, 2009)

Cada trama lógica se compone de dos partes cada una de ellas contienen su propio nivel de protección y tamaño de trama, el cuál es asignado independientemente, proporcionando una protección contra errores desigual (UEP).

Para los 4 primeros modos de robustez la longitud de las tramas lógicas es de 400 ms. Si el flujo es de audio, la trama lógica lleva los datos de una supertrama de audio.

Las tramas lógicas de todos los flujos se mapean en las tramas de Multiplexación con la misma duración para después pasar a la siguiente etapa que es la codificación del canal. El SDC¹⁴ se encarga de la configuración de la multiplexación.

Construcción del Canal MSC

El canal MSC consiste de una secuencia de tramas multiplexadas, si se usa modulación jerárquica también se debe incluir una secuencia jerárquica de tramas las cuales son pasadas por separado al codificador del canal. (GIL PEÑAFIEL & SANTILLÁN SACOTO, 2015)

Tramas Multiplexadas

Las tramas multiplexadas son construidas al juntar todas las tramas lógicas de cada flujo no jerárquico. Este proceso se realiza tomando los datos de la parte con protección más alta de las tramas lógicas del flujo, y colocando los flujos de numeración más baja, continuando hacia los de numeración más alta, hasta que todos ellos sean transferidos. Posteriormente, el mismo proceso es realizado para las partes con protección más baja del flujo. La parte con protección más alta se la denomina parte A y con la protección más baja se denomina parte B.

El tamaño de las tramas multiplexadas es mayor o igual a la sumatoria de las tramas lógicas de las que están formadas. Se llena con bits de relleno el espacio que sobre en

¹⁴ SDC: Señalización del canal o Service Description Channel

estas tramas, estos bits son una sucesión de ceros lógicos. (GIL PEÑAFIEL & SANTILLÁN SACOTO, 2015)

Mensajería de Texto

Un elemento adicional a un servicio de audio son los mensajes de texto, y no consumen mucha capacidad de datos. Al ser un servicio opcional, esta capacidad puede obviarse si el proveedor de servicio DRM decide no usar la mensajería.

Estructura de la Mensajería de Texto

El servicio de mensajes de texto ocupa los últimos 4 bytes de cada trama lógica que transporta los flujos de audio, siendo ésta la parte menos protegida de la trama. De esta forma el mensaje se divide en varios segmentos, para tal efecto se emplea la codificación de caracteres UTF-8¹⁵. Los mensajes pueden tener hasta 8 segmentos, se transmite un segmento por trama lógica. Cada segmento se compone por un encabezado, un cuerpo y un CRC.

El cuerpo del mensaje es codificado como una cadena de máximo 16 caracteres. El CRC del mensaje de 16 bits se calculará en el encabezado y el cuerpo, usando el polinomio generador:

$$G_{16}(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1 \quad \text{Ecuación 4-2}$$

Ejemplo del Mapeo de Tramas Lógicas en la Trama Multiplexada

En este ejemplo se tiene dos servicios, uno de audio (A) y otro de datos (D), además el servicio de audio lleva datos de aplicación como sigue:

- Servicio A: Consta de dos flujos, los datos de audio (flujo 0) y los datos de aplicación (flujo 1).
- Servicio D: Consta de un flujo de datos (flujo 2).

En la **Figura 17-2** se ilustra la trama multiplexada generada.

¹⁵ UTF-8: 8-bit Unicode Transformation Format

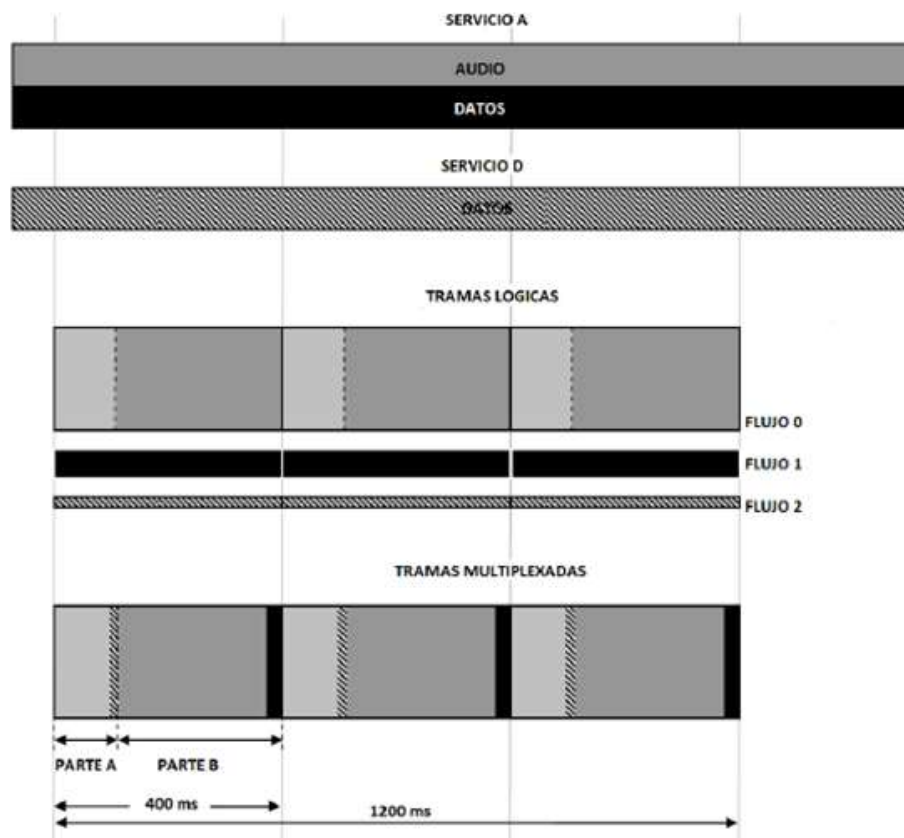


Figura 17-2. Tramas multiplexadas

Fuente: (ETSI, 2009)

Los niveles de protección en los que cada flujo es colocado se ilustran en la **Tabla 6-2**.

Tabla 6-2. Niveles de Protección de Cada Flujo de la trama multiplexada.

Parte A		Parte B	
Nivel de protección 0		Nivel de protección 1	
Flujo 0	Flujo 2	Flujo 0	Flujo 1
266 bytes	19 bytes	798 bytes	59 bytes

Fuente: (ETSI, 2009)

Fast Access Channel (FAC)

El canal FAC contiene información de los parámetros que se necesitan para la demodulación y de la selección de información para un escaneo de frecuencia rápido. El receptor decodifica éste componente antes que todos los demás ya que contiene la información más sensible para la sincronización del sistema. Utiliza una modulación más robusta de 4 QAM, este canal no se entrelaza en el tiempo como el MSC y el SDC debido a la complejidad relativamente baja de la modulación, lo cual asegura que el receptor se demore lo mínimo posible en obtener los datos del canal.

El canal FAC proporciona además información acerca del ancho de banda de la señal y de los servicios disponibles. El ancho de banda determina la ocupación del espectro y la profundidad del entrelazado, para que el receptor pueda realizar la decodificación de forma eficaz. Si la decodificación del SDC y el MSC falla a causa de desvanecimiento, el FAC mantiene la sincronización en la recepción, lo cual minimiza el tiempo de recuperación del servicio.

Estructura del FAC

Un bloque FAC contiene una trama de 400 ms y una longitud de 9 bytes, el canal se constituye por parámetros de servicio de 44 bits, por parámetros de canal de 20 bits y 8 bits de CRC, ilustrado en la **Figura 18-2**. (ETSI, 2009)

Los parámetros de servicio se transportan en tramas FAC sucesivas, un servicio por cada trama. Cuando más de un servicio se transmite en la multiplexación, varios bloques FAC para describir todos los servicios son requeridos.

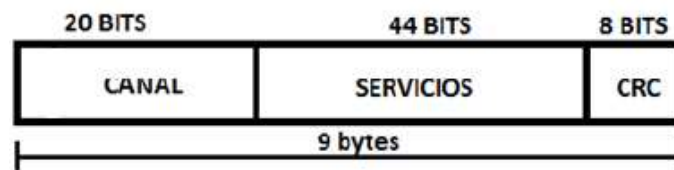


Figura 18-2. Estructura del Fast Access Channel (FAC)

Fuente: (ETSI, 2009)

Los parámetros de canal se encargan de llevar información general acerca del modo de operación del sistema, el ancho de banda usado y el modo en que está trabajando el MSC y el SDC. Los parámetros de servicio son los encargados de especificar información sobre el tipo de servicio de audio que el sistema está ofreciendo ya sea el lenguaje de la transmisión, el tipo de programa, etc. (GIL PEÑAFIEL & SANTILLÁN SACOTO, 2015)

Service Description Channel (SDC)

Cuando la información del FAC se ha demodulado, el receptor comienza a decodificar el SDC. Los datos del SDC son siempre entrelazados para así aumentar su resistencia a desvanecimientos. Se puede lograr la verificación de frecuencias alternativas para los mismos servicios de audio a través del SDC, razón por la cual los datos de este canal deben ser procesados con cuidado.

Este canal da información sobre como decodificar el MSC, como encontrar fuentes alternativas de los mismos datos y dar atributos a los servicios transportados en el multiplexado. Dependiendo del espectro ocupado la capacidad del canal varía. El canal usa siempre la modulación menos compleja que la que utiliza el MSC; si MSC utiliza 64 QAM, el SDC empleara 16 QAM; si el MSC utiliza 16 QAM el SDC empleara 4 QAM. La protección de este canal es variable en contra de errores debido a que contiene información sensible acerca de cómo decodificar los servicios.

Estructura

El tamaño que contiene las tramas SDC puede ser muy grande razón por la cual puede requerir que se transmita en más de un solo bloque SDC. Como ejemplo se tiene un bloque de transmisión con una supertrama de 1200 ms, como se ilustra en la **Figura 19-2**, y se compone de:

- Índice AFS de 4 bits
- Campo de datos n bits (entidades de datos de tamaño variable)
- CRC 16 bits. (ETSI, 2009)



Figura 19-2. Estructura del Service Description Channel (SDC)

Fuente: (ETSI, 2009)

Índice AFS: Determina la cantidad de supertramas, es un numero de 4 bits que en forma binaria registra un valor comprendido desde el 0 al 15. Este índice separa el bloque SDC del siguiente. Este índice debe ser idéntico en todos los bloques SDC.

CRC: De forma similar que en el FAC es utilizada la verificación por redundancia cíclica, el código CRC de 16 bits es calculado a partir del índice AFS y del campo de datos, usando el siguiente polinomio generador:

$$G_{16}(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1 \qquad \text{Ecuación 5-2}$$

Campo de datos: Contiene un número variable de datos, su longitud depende del modo de robustez, como se ilustra en la **Tabla 7-2**. (ETSI, 2009)

Tabla 7-2. Longitud del Campo de Datos del Service Description Channel.

Modo de Robustez	Modo SDC	Longitud del campo de datos (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	-	-	-	-	-

Fuente: (ETSI, 2009)

Bits de Relleno: Se utiliza para rellenar la información de la supertrama. Es un valor de 0 a 7 bytes. Del modo de robustez, el modo SDC y la ocupación del espectro depende su longitud. Solo debe contener ceros lógicos los bits de relleno, los cuales serán ignorados por el receptor.

Entidades de Datos

Las entidades de datos componen el campo datos, cada una de ellas contienen 12 bits de cabecera y un cuerpo de longitud variable. La cabecera, ilustrada en la **Figura 20-2**, tiene el siguiente formato:

- Longitud del cuerpo: Tiene 7 bits, es la cantidad de bytes que ocupa el cuerpo de la entidad de datos.
- Bandera de versión: Tiene 1 bit, administra los datos en el receptor.
- Tipo de identidad de datos: Tiene 4 bits, establece el número de identidades de datos. (ETSI, 2009)

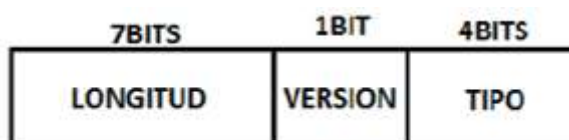


Figura 20-2. Cabecera de una entidad de datos de Service Description Channel (SDC)

Fuente: (ETSI, 2009)

Existen un total de 16 entidades de datos de diferente índole, mostradas en la **Tabla 8-2**.

Tabla 8-2. Tipos de Entidades del Service Description Channel (SDC)

Tipo de Entidad	Nombre de Entidad	Descripción
Tipo-0	Descripción del multiplexado	Describe información sobre el multiplexado
Tipo-1	Etiqueta de Identidad	Genera un acceso condicionado a los parámetros a ser enviados.
Tipo-2	Parámetros de Acceso Condicional	Entrega información a los receptores sobre frecuencias DRM donde los servicios enviados pueden ser encontrados
Tipo-3	Señalización de Frecuencia Alternativa: Red de Información de Múltiples Frecuencias	Entrega información a los receptores sobre frecuencias DRM donde los servicios enviados pueden ser encontrados.
Tipo-4	Señalización de Frecuencia Alternativa: Definición de Horario	Transmite un horario de frecuencias.
Tipo-5	Información de Aplicación	Entidad que describe todos los servicios de datos
Tipo-6	Anuncio de Soporte y Conmutación	Indica los tipos de anuncios.
Tipo-7	Señalización de Frecuencia Alternativa: Definición de Región	Define las áreas geográficas para las cuales un conjunto de frecuencias alternativas están disponibles.
Tipo-8	Fecha y Hora	Define la fecha y la hora.
Tipo-9	Información de Audio	Descripción de los parámetros de decodificación de audio
Tipo-10	Parámetros del Canal FAC	Indica la siguiente configuración de los parámetros del canal FAC.
Tipo-11	Señalización Alternativa de Frecuencia: Otros Servicios de Datos	Señalización de fuentes alternativas para un servicio DRM sintonizado.
Tipo-12	Lenguaje y País	Señaliza información sobre el país y el lenguaje que usa la transmisión.
Tipo-13	Señalización de Frecuencia Alternativa: Definición Detallada de Región	Permite la definición de áreas geográficas donde un conjunto de frecuencias alternativas es permitido.
Tipo-14	Parámetros FEC para el Flujo de Paquetes	Los parámetros FEC para los paquetes son descritos por esta entidad.

Tipo-15	Extensión	Esta entidad permite que más entidades sean definidas
----------------	-----------	---

Fuente: (ETSI, 2009)

Cambio de Tipo de Contenido del Canal SDC

El canal SDC tiene información para las operaciones de AFS¹⁶. El índice AFS se envía en el canal SDC y luego este índice es validado por el canal FAC utilizando el campo de identidad. Sin frecuencias alternativas en las transmisiones, la información del canal SDC puede ser completamente dinámica y modificable no siendo necesario la utilización de un índice AFS. Con frecuencias alternativas en las transmisiones, debe asignarse con cuidado las entidades de datos al SDC, con el fin de que la información del éste sea lo menos variable posible.

Señalización de Reconfiguración

En el canal MSC se puede reconfigurar en los emisores la transmisión de una supertrama. Este proceso se debe registrar en el SDC permitiendo al receptor tomar la mejor decisión para el manejo de los cambios.

Dos tipos de reconfiguración se pueden realizar: una de servicios y una del canal. Todos los tipos de entidades de datos que utilizan esta técnica son registrados en la configuración actual del sistema siendo necesarios los mismos para configuraciones nuevas.

Reconfiguración de Servicios

La reconfiguración de servicios es necesaria cuando la capacidad del MSC es reestructurada entre sus servicios. Esto sucede cuando el número de servicios o el tamaño de los flujos enviados cambian. La reconfiguración se enviaría con la mayor anticipación posible con la finalidad de que el receptor obtenga toda la información necesaria para la nueva configuración. Si en la reconfiguración el servicio seleccionado es desactualizado, se busca otra fuente o frecuencia de este servicio en el receptor utilizando datos de las entidades de datos tipo 3 y 11.

¹⁶ AFS: Alternative Frequency checking and Switching

Reconfiguración de Canal

Cuando se alteran cualquiera de los parámetros del canal FAC, se debe aplicar la reconfiguración con la mayor brevedad posible para que el receptor disponga de toda la información necesaria. La reconfiguración se señala en la entidad de tipo 10 si la frecuencia sintonizada es descontinuada en la transmisión. En Los mecanismos de reconfiguración para la bandera versión no se señalizan en las entidades para casos específicos como el anterior.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo y diseño de investigación

Es una investigación experimental, transversal y de campo.

El presente trabajo es una investigación experimental, se basa en el estudio de las condiciones particulares en la transmisión y recepción de señal en AM digital, mediante el uso de codecs de audio desarrollados en GNU Radio y tarjetas USRP.

Complementariamente se realiza una investigación transversal y de campo para describir un efecto particular en una población en particular en un momento determinado en el tiempo. Con este estudio se puede capturar la información en condiciones similares de personas que todavía sintonizan la radio, determinando los niveles de sintonía y la utilidad de la radio en las comunidades rurales de Riobamba y Colta mediante la aplicación de encuestas.

3.2. Métodos de investigación

La investigación se desarrollará a través de la aplicación del método deductivo-inductivo. **Método Deductivo**, “Es una forma de razonamiento que parte de una verdad universal para obtener conclusiones particulares. En la investigación científica, este método tiene una doble función” (Maya, 2014). Ayudó en la comprensión de conceptos, definiciones, leyes y normas generales que involucran el conocimiento del estándar DRM para la transmisión y recepción de señales en AM digital, codificado a través de módulos por medio de GNU Radio y DREAM SDR.

Método Inductivo, permitió que, mediante el estudio de casos, hechos o fenómenos relativos a la medición para distintos ambientes controlados de transmisión, sea posible determinar las características de la señal de transmisión, que sirvan como una base para obtener los objetivos.

Análisis, “Que distingue las partes de un todo y procede a la revisión ordenada de cada uno de los elementos por separado” (Maya, 2014). Proceso mental que permitió descomponer en partes los resultados, ideas para mostrarlas, describirlas y así poder explicar las causas de los resultados y fenómenos a estudiar, relativos al comportamiento de las señales en distintos ambientes de transmisión.

Síntesis, Se reconstruyó ciertos elementos circundantes al problema de investigación para facilitar la comprensión y enfocar los análisis para establecer las conclusiones de la investigación, El resultado de este estudio serán los niveles de la calidad de servicio valorados en la velocidad de transmisión (bps) y la relación e señal a ruido (SNR) para determinar la fidelidad en la recepción de señales digitales. Además, con la aplicación de encuesta se determina los niveles de sintonía y la utilidad de la radio en la comunicación y acceso de información a la población.

3.3. Enfoque de investigación

Enfoque cuantitativo: se usará en la recolección de datos para probar las hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías. Dados que los datos son producto de mediciones de transmisión de señales, se representa mediante números y se deben analizar a través de datos estadísticos.

Enfoque cualitativo: se usó en la recolección de los datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas en el proceso de interpretación de los datos. Aquí se desarrolló preguntas e hipótesis antes, durante y después de la recolección y el análisis de los datos.

3.4. Alcance de la investigación

Al realizar la investigación se determinará los niveles de sintonía de la radio en amplitud modulada en las comunidades rurales de Riobamba y Colta y su contraste con las pruebas realizadas en un laboratorio de la transmisión digital, permitiendo diagnosticar los avances y mejoras tanto técnica como tecnológica y social del uso de las frecuencias en amplitud modulada.

3.5. Población de estudio

Comunidades de los cantones de Riobamba y Colta, para la realización de encuestas.

Ambiente controlado en un laboratorio para la realización de la experimentación con el uso de tarjetas USRP para el diagnóstico de la fidelidad en la recepción de señales digitales.

3.6. Unidad de análisis

Mediciones de señales del sistema de transmisión de radio AM digital.

Ambiente laboratorio.

Encuestas.

3.7. Procesos para el desarrollo del trabajo de investigación

Para el desarrollo del sistema, se requirió seguir una serie de pasos y etapas, que, en conjunto, cumplirían con el objetivo planteado. Cada etapa desempeña una función específica dentro del esquema global, y también sirve de apoyo para la siguiente etapa, haciendo que la implementación sea un sistema funcional, se puede referenciar estos procedimientos en la **Figura 1-3**.

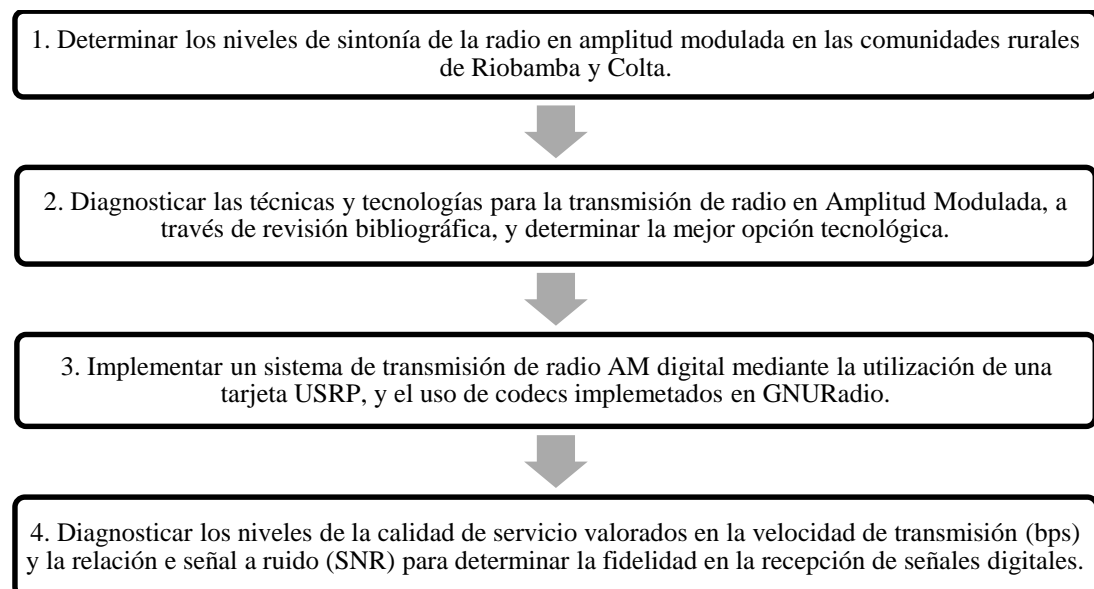


Figura 1-3. Diagrama de procedimientos.

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Primer proceso: Determinar los niveles de sintonía de la radio en amplitud modulada en las comunidades rurales de Riobamba y Colta. Se consultó los niveles de sintonía de la radio en amplitud modulada en las comunidades rurales de Riobamba y Colta para determinar el número de oyentes y la utilidad de la radio en estos sitios.

Segundo proceso: Diagnosticar las técnicas y tecnologías para la transmisión de radio en Amplitud Modulada, a través de revisión bibliográfica. Se analizará los principales estándares de transmisión digital para radio, lo cual permite determinar las principales fortalezas y debilidades de cada uno, y con ello, escoger el más eficiente para el desarrollo del proyecto.

Tercer Proceso: Implementar un sistema de transmisión de radio AM digital mediante USRP. Una vez seleccionado el sistema de transmisión más adecuado para el estudio, se procede a realizar la implementación del sistema en particular las fases de codificación mostradas en la **Figura 2-3** descrito en los módulos desarrollados en GNU Radio. Se describe la recepción que corresponde a la utilización del software DREAM en conjunto con el software HDSDR. Además de las tarjetas Ettus USRP N210, Ettus USRP B200, HackRF One, y RTL-SDR REALTEK RTL2832U VERSIÓN R820T E4000. Además, se describe las fases que componen la transmisión y la recepción a través de código desarrollado en Matlab.

Cuarto proceso: Diagnosticar los niveles de la calidad de servicio mediante el uso de códecs en USRP para determinar la fidelidad en la recepción de señales digitales. En la cuarta etapa se realizó el análisis de las principales características de las señales transmitidas y recibidas en los distintos modos de transmisión propios del estándar DRM. Complementado el desarrollo del proyecto se realizó una encuesta para determinar la calidad de audio de las señales AM, FM, DRM.

3.7.1. *Determinar los niveles de sintonía de la radio en amplitud modulada en las comunidades rurales de Riobamba y Colta*

De una población de 45000 personas del cantón Colta, una población de 68508 personas sector rural de Riobamba se ello se tomó una muestra a la cual se hizo su respectiva

entrevista, para tener una información adecuada se consideró un error estándar menor de 0.022 al 91 % de confiabilidad.

Tabla 1-3. Determinación de la muestra

Riobamba – Rural	Colta – Rural
N=68508	N=45000
se = 0,015	se = 0,015
$\sigma^2 = (se)^2 = (0.022)^2 = 0.000484$	$\sigma^2 = (se)^2 = (0.022)^2 = 0.000484$
$s^2 = p(1 - p) = 0.91(1 - 0.91) = 0.0819$	$s^2 = p(1 - p) = 0.91(1 - 0.91) = 0.0819$
por lo que	por lo que
$n' = \frac{s^2}{\sigma^2} = \frac{0.0819}{0.000484} = 169.214876$	$n' = \frac{s^2}{\sigma^2} = \frac{0.0819}{0.000484} = 169.214876$
$n = \frac{n'}{1 + \frac{n'}{N}} = 168.58$	$n = \frac{n'}{1 + \frac{n'}{N}} = 168.80$

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

En la investigación se necesitó una muestra de al menos 169 personas en las comunidades rurales de Colta y de 169 personas en las comunidades rurales de Riobamba, dando un total de 338 encuestas. Finalmente, la encuesta indicó los siguientes resultados.

Las parroquias rurales de Riobamba encuestadas son 7 y de Colta son 4, siendo 169 personas de cada cantón. Se determina un promedio de 31 encuestados por parroquia.

Los encuestados que sintonizan o sintonizaban radio AM se encuentran en las edades de 50 y 60 y más de 60 años, siendo el 24% del total de personas. Los encuestados menores de 50 años sintonizan radio FM u otros medios de comunicación. En varios sectores rurales todavía sintonizan radios en amplitud modulada. Pero en el último año se cerraron varias estaciones radiodifusoras que emitían su señal en estas frecuencias. La gran mayoría sintoniza la radio en frecuencia modulada.

El mayor porcentaje de encuestados es de género masculino siendo el 56% del total de personas. Siete de los encuestados no disponen de señal de radio por ende no se les realizará algunas preguntas de las encuestas. La razón es que la ubicación de sus casas no les permite sintonizar señal de radio debido que allí solo sintonizaban señales en

amplitud modulada y al no haber estaciones que transmitan en esta frecuencia ya no hay señal de radio.

Los encuestados sintonizan la radio diariamente, en varias instancias del día, siendo el 73% del total de personas. Los que sintonizan los fines de semana y de vez en cuando la realizan para programas de entretenimiento. Al sintonizar la radio en varias etapas del día, se les preguntó en que instancias lo hacían, al mediodía lo hacen un 35%, de madrugada y por las mañanas en un 30% respectivamente. Como algunas personas sintonizan la radio tanto en la madrugada, en la mañana como el mediodía a la vez, es la razón que en el total de resumen de algunas tablas de las encuestas sea un valor muy superior al total de encuestados, no siendo así que este haya aumentado, el total de encuestados es de 331 de todas las parroquias.

La mayoría de encuestados dispone al menos una radio en el hogar, esto debido a que disponen de otros equipos de comunicación. Las personas que seleccionan dos, es debido a que disponen de un equipo de sonido, además de una radiograbadora. Los encuestados no piensan en comprar otro radio, debido a que sintonizan en su mayoría señal FM y utilizan los equipos de sonido para reproducir música.

El 89% de los 331 encuestados les parece que la señal en Amplitud modulada es mala. El 93% piensa que la señal en frecuencia modulada es buena. La señal en frecuencia modulada en ciertos lugares del sector rural es buena, pero en otros lugares la señal no llega debidamente. La calidad de las señales en amplitud modulada es mala no se puede sintonizar debidamente en varios sectores donde residen los encuestados.

Las radiodifusoras más sintonizadas en los sectores encuestados en amplitud modulada y frecuencia modulada son: ERPE, Buenas Nuevas, Sembrador, la Voz de Guamote, Promoción, Colta, todas son señales que se emiten o emitían en las parroquias donde residen los encuestados. El 85% de los encuestados sintonizan la radio en sus hogares, siendo sintonizada también en carro, en el trabajo entre otros. Los programas más sintonizados por los encuestados son los informativos siendo un 40%, le siguen los musicales en un 26% y las entrevistas en un 16%. Seguidos por los deportivos en un 12% y los culturales en un 3%. Los otros programas sintonizados en sus inicios de la radio AM estaban enfocados a la evangelización y de alfabetización.

Debido a que a través del celular también se puede sintonizar las señales de radio se realizan preguntas en este sentido. Obteniéndose que un 88% de las personas encuestadas disponen de un celular. La principal utilidad de los celulares por parte de los encuestados es para realizar llamadas, siendo el 100% de la utilidad de estos dispositivos, debido a que en los sectores rurales solamente se puede sintonizar una operadora telefónica y no da muy buen soporte para conexión de datos. Los otros usos del celular son para mensajes en un 28%, internet en un 18%, escuchar música en un 19%, Acceso a redes sociales en un 13%, y, otros usos en un 16%.

En los sectores rurales todavía se siguen informando por medio de los medios radiales, debido a que otro tipo de señales no llegan muy bien a todos los lugares. Siendo sintonizada la radio en un 42%, la televisión en un 33%, celular en un 14% e internet en un 11%. Si la calidad de la señal de la radio mejora la gran mayoría de los encuestados sintonizaría la radio, un 84% respondieron afirmativamente. Las frecuencias que escucharía serían en ambos diales con un 54%, debido a que en muchos sectores todavía se sintonizaba tanto las señales de AM como de FM. Solamente en FM respondieron un 43% de encuestados. Si la señal de AM mejoraría la calidad y tenga una mejor fiabilidad permitiría que los encuestados vuelvan a sintonizar la radio, respondiendo afirmativamente un 93% de encuestados.

Los encuestados no han escuchado o no saben de los estándares de transmisión digital. Un porcentaje de los encuestados los ha escuchado, siendo un 2%, pero solamente son los de televisión digital, siendo en el caso de Ecuador el estándar ISDB-T. Al no tener conocimiento de los estándares de transmisión digital para el espectro radial, se les realizó una demostración de la señal emitida tanto en AM, FM, como en DRM. Se realizó una captura de audio en amplitud modulada, en frecuencia modulada en un sector de común acceso para las personas en las zonas rurales como lo es una plaza. Para el audio en AM digital en este caso en el estándar DRM se dispone de una captura de una señal real de transmisión por una emisora británica, la BBC, decodificada por el software DREAM SDR.

3.7.2. *Diagnosticar las técnicas y tecnologías para la transmisión de radio en Amplitud Modulada, a través de revisión bibliográfica, y determinar la mejor opción tecnológica.*

Los aspectos que serán tomados en cuenta y que son los que se presentan en la tabla comparativa son los siguientes:

1. Banda de frecuencias utilizada para la transmisión de los servicios de radiodifusión digital.
2. Canal y ancho de banda utilizados para la transmisión de los servicios de radiodifusión digital.
3. Sistemas de radiodifusión analógicos que sustituye.
4. Capacidad de transmisión de datos del sistema.
5. Servicios de audio y valor agregado que ofrece el sistema de radiodifusión digital.
6. Codificación de canal utilizada por el sistema de radiodifusión digital.
7. Codificación de fuente utilizada por el sistema de radiodifusión digital.
8. Mejoras en la calidad de audio que ofrece.
9. Facilidad para la migración del sistema de radiodifusión analógico al sistema de radiodifusión digital y costos de la implementación.

Tabla 2-3. Cuadro comparativo de las tecnologías de radiodifusión digital terrestre

Características del sistema	Sistema de Radiodifusión Digital			Mejor Estándar
	IBOC	DRM	DAB	
Banda de frecuencias	Bandas asignadas, para AM y FM	Bandas asignadas, para AM, FM y OC.	Bandas de VHF y UHF (Banda L y Bandas I a V)	DRM
Canal y ancho de banda	Usa el mismo canal de la señal analógica y maneja 3 anchos de banda de acuerdo al tipo de señal: AM híbrida: 29,433.2 Hz AM digital: 18,895.4 Hz FM: 396,804 Hz	Puede utilizar el mismo canal de la señal analógica (simulcast de canal único (DRM30)) o puede usar un canal adyacente (simulcast multicanal (DRM30 Y DRM+))	Ancho de banda nominal de 1.536 MHz y con canales cada 16 kHz.	IBOC / DRM
Sistema de radiodifusión analógico que sustituye	AM y FM	Sistemas de radiodifusión por debajo de los 30 MHz (DRM 30) y sistemas de radiodifusión analógicos en la banda de 30 a 174 MHz (DRM+)	Funcionar en las bandas de VHF y UHF, por lo que los sistemas AM y FM pueden seguir funcionando	IBOC / DRM
Capacidad de transmisión	AM: 36 a 40 kbps FM: 98 a 278 kbps Permite la multidifusión (3 programas independientes)	DRM30: 4.8 a 72 kbps DRM+: 37.2 a 186.3 kbps Permite la multidifusión (4 programas independientes)	Va de 8 a 384 kbps. Permite la multidifusión; hasta 9 programas independientes dentro de un mismo canal.	DAB
Servicios de audio y valor agregado	Permite la transmisión de: Señales analógicas y digitales simultáneas.	Permite: Sintonizar AM, FM y DAB. Transmisión de señales analógicas y digitales.	Permite: Sintonizar AM, FM y DRM. Envío de datos de identificación. EPG, Journaline, TMC/TPEG y DMB.	DRM/DAB

	Datos y audio de programas principal y complementario. Datos independientes a los servicios de audio. Datos de identificación.	Envío de datos de identificación. EPG, Journaline, MOT Slideshow, canal de tráfico, mensajes de texto y Diveemo. Uso de SFN y MFN.	Trabajar con GSM y DRM para ofrecer servicios bajo demanda y mayor contenido. Uso de SFN en la Banda L.	
Codificación del canal	COFDM	COFDM	COFDM	
Codificación de fuente	HE-AAC	HE-AAC, xHE-AAC (DRM30 y DRM+) y CELP y HVXC (DRM30)	Ofrece 4 modos de audio y dos codecs MPEG2 (DAB) y HE-AAC (DAB+)	DAB / DRM
Calidad de audio	AM alcanza una calidad de audio igual a la FM analógica actual, mientras que FM alcanza una calidad de audio igual a la de un CD	AM alcanza una calidad de audio igual a la FM analógica actual, mientras que FM ofrece la posibilidad de la transmisión de sonido envolvente	Permite la transmisión de sonido envolvente	DRM
Facilidad para la migración y costos adicionales de implementación	AM: Ofrece una configuración para adaptar el equipo analógico actual y poder transmitir la señal híbrida. FM: Ofrece tres configuraciones para adaptar el equipo analógico actual y poder transmitir la señal híbrida. Cuenta con una gran variedad de receptores disponibles.	AM: Ofrece una configuración para adaptar el equipo analógico actual y poder transmitir la señal híbrida. FM: Ofrece tres configuraciones para adaptar el equipo analógico actual y poder transmitir la señal híbrida: Actualmente se han desarrollado pocos receptores para DRM30 y aún no existe ningún receptor disponible para DRM+.	Por trabajar en bandas diferentes a las asignadas para la radiodifusión en México, es necesario adquirir equipos de transmisión y antenas nuevos. Además, cuenta con una gran variedad de receptores disponibles para los usuarios	DRM

Fuente: (SALINAS, M. A., 2011)

3.7.3. *Implementar un sistema de transmisión de radio AM digital mediante la utilización de una tarjeta USRP, y el uso de codecs implementados en GNURadio.*

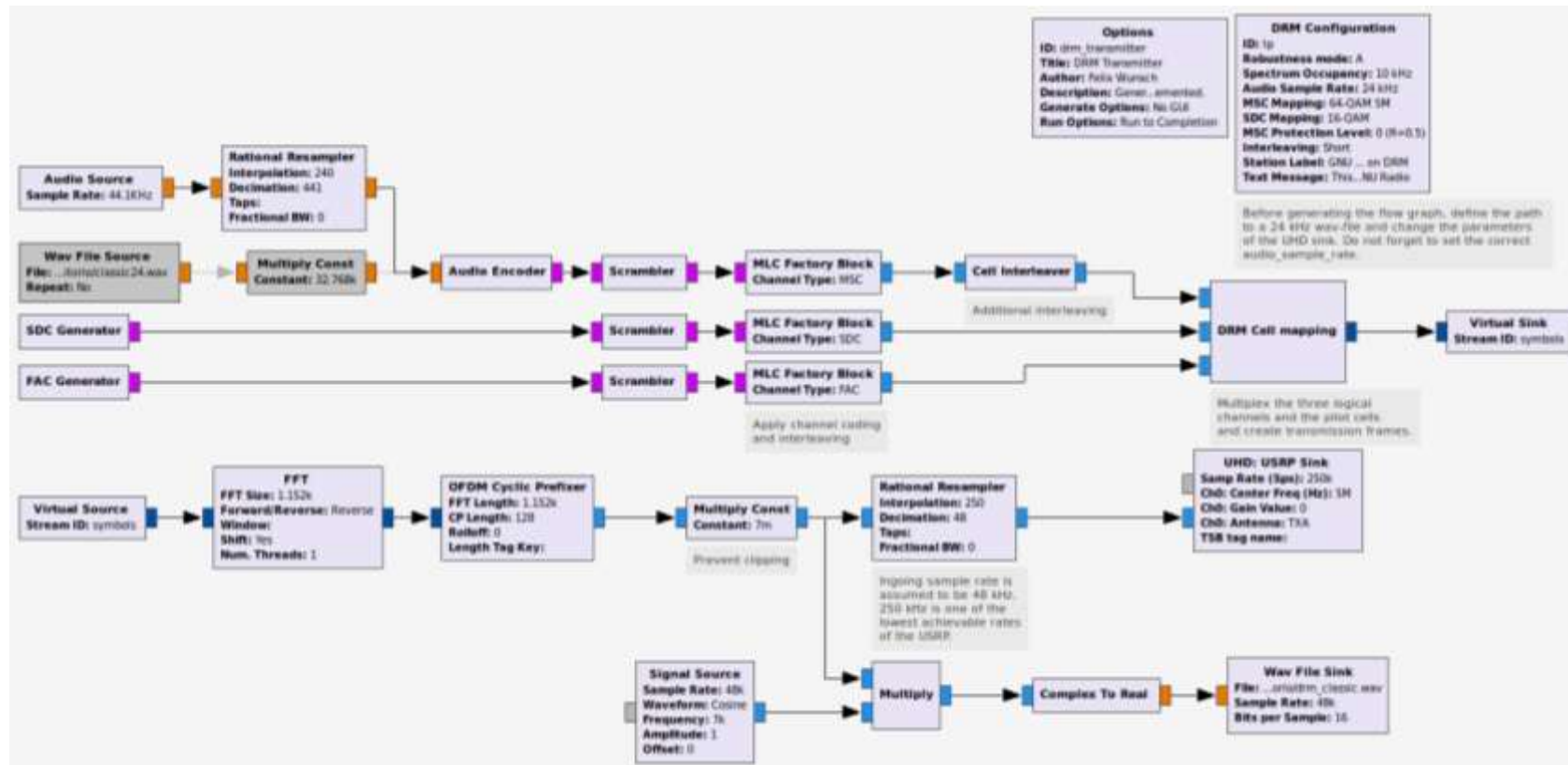


Figura 2-3: Sistema de transmisión implementado en GNU Radio

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

3.7.3.1. Método utilizado para el desarrollo del trabajo de investigación

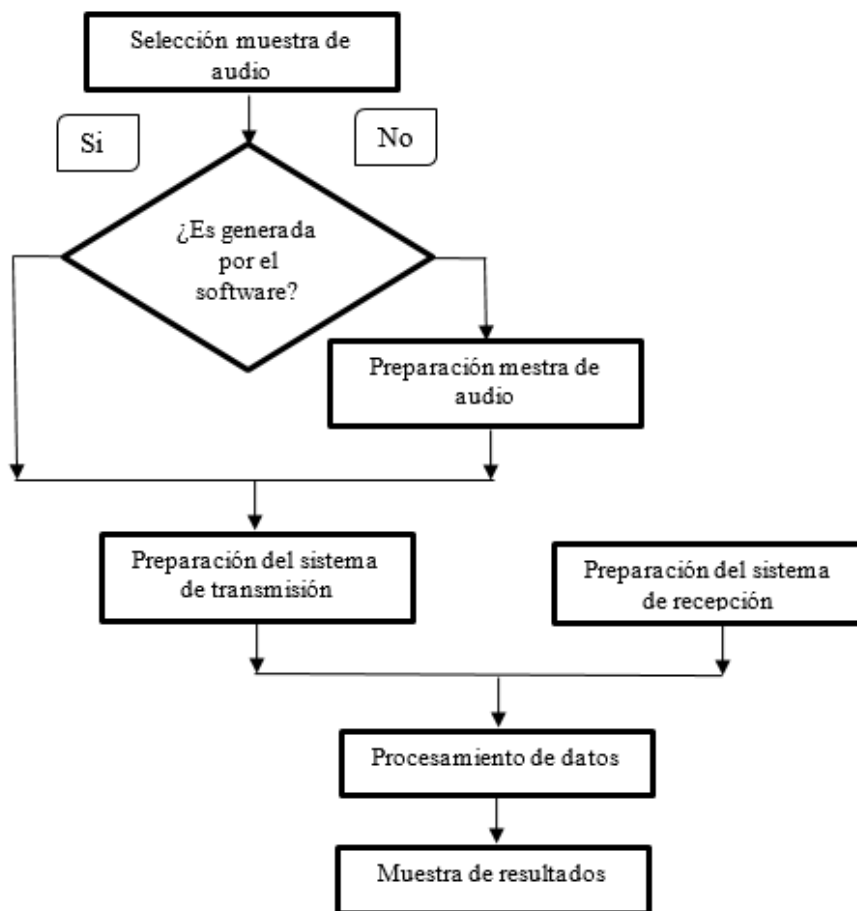


Figura 3-3: Diagrama de la metodología

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

3.7.3.2. Selección de muestras de audio

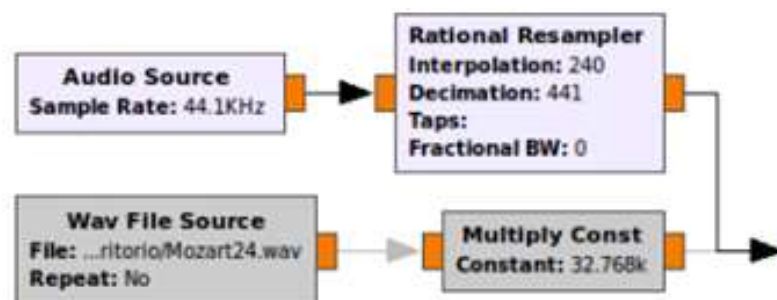


Figura 4-3: Fuente de audio

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

El sistema puede funcionar a través de la transmisión de una muestra de audio o una señal emitida directamente por el software GNU Radio. Dependiendo cual fuente de la señal se escoja, se procede a configurar el transmisor.

Preparación de la muestra de audio

Debido a que no se dispone de la información de audio o el archivo se encuentre muestreado en otro formato se debe configurarlo. Para tal efecto se realiza a través del comando sox en Linux.

Sintaxis: 'sox <mysong.wav> -r <new_sample_rate> <mysongresampled.wav>
remuestrear'

3.7.3.3. *Preparación del sistema transmisión*

En esta sección se detalla un análisis del funcionamiento de la tecnología planteada para el proyecto. Para el transmisor es necesario contar con el software y el hardware apropiado, se debe considerar algunos aspectos como: características de los computadores, el diseño del transmisor en GNU Radio, la configuración del receptor en HDSDR y Dream SDR con el fin de determinar el mejor prototipo que nos brindara un sistema estable y eficiente de medición.

Características de los computadores

Las mejores características de los computadores para el sistema necesitan velocidades altas de procesamiento, como se detallan en la **Tabla 3-3**, además de utilizar Linux Ubuntu en el transmisor y de Windows 10 en el receptor.

Tabla 3-3. Características de los computadores

Características	Transmisor	Receptor
	Descripción	Descripción
Sistema operativo	Linux/Ubuntu	Windows 10
Procesador	Core i7	Core i7
Conectividad	USB 3.0	USB 3.0
Configuración	MATLAB, GNU Radio	HDSDR, Dream SDR

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Diseño del transmisor (GNU radio)

El software está alojado públicamente en <http://www.github.com/kit-cel/gr-drm>. Se dispone diagramas de flujos GRC totalmente configurados para su utilización pública sin

ninguna restricción, no siendo necesario ningún tipo de profundidad de conocimientos sobre DRM o incluso transmisión digital en absoluto.

La configuración del transmisor DRM está determinada por una gran cantidad de parámetros, estos dependen uno de otros, siendo en ciertas circunstancias una estructura compleja. Los parámetros siguen una configuración jerárquica, lo cual permite la definición de múltiples parámetros de bajo nivel como como la duración del símbolo y la duración del intervalo de guarda a través de parámetros de orden superior Siguiendo esta estructura, es posible definir un grupo pequeño de parámetros por el usuario que permiten una configuración completa del transmisor. Los parámetros de nivel superior son:

- RM
- SO
- Bandera UEP para una alta protección de bytes
- Tipo de código de audio y velocidad de muestreo de la entrada de audio
- Esquema de mapeo MSC y SDC
- Velocidad de código MSC y SDC
- Bandera de entrelazado: corta o larga
- Nombre de la estación y mensaje de texto

En el código fuente del módulo gr-drm, la estructura está representada por varias clases y clases dependientes, por ejemplo, para MSC, se determinan los parámetros SDC y FAC.

Hay clases de nivel superior que espera todos los parámetros clave definidos como argumentos de constructor y crea instancias de subclases que usan estos parámetros para que calcule los parámetros de la capa más baja. Estas subclases heredan la configuración inicial de la transmisión. El propósito de las clases de nivel superior es principalmente granular, el paso de los valores en cada bloque, se extraen del bloque constructor. Todos los cálculos de parámetros necesarios se realizan previo a la ejecución de la transmisión para mantener el consumo bajo del CPU.

La **Figura 5-3** ilustra el proceso de inicialización de los parámetros. Los parámetros iniciales se pasan de GRC a la clase de nivel superior transm_params que los entrega a la clase de configuración que realiza algunos controles de rango y plausibilidad e intentan

reparar configuraciones inválidas. Si la configuración pasa estas pruebas, las otras subclases se inicializan pasando los valores calculados a las demás clases o bloques.

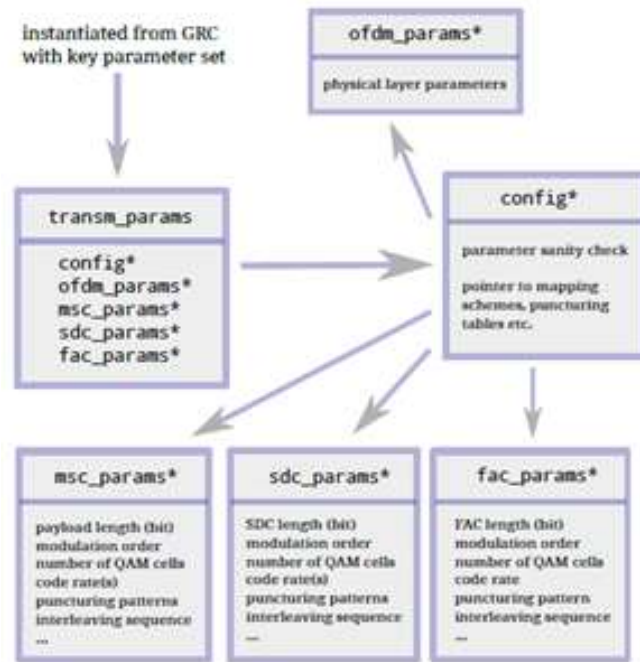


Figura 5-3. Bloques de transmisión DRM en GNU Radio

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

La **Figura 6-3** muestra los bloques de configuración de los parámetros de nivel superior iniciales del sistema, desarrollado en Ubuntu para la transmisión de la señal con modulación en DRM.

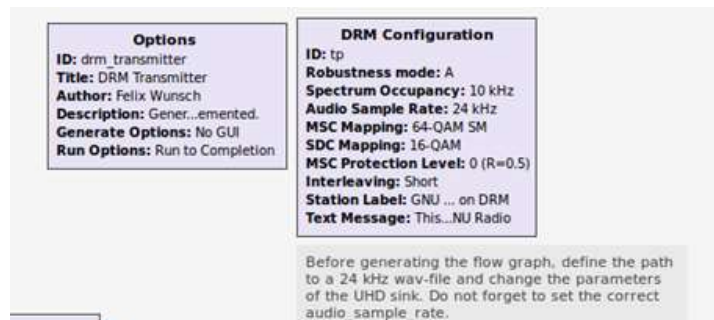


Figura 6-3. Parámetros iniciales configurados

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

En la **Figura 7-3**, se muestra la pantalla principal para la configuración DRM. La cual permite inicializar los parámetros para la transmisión en DRM. Define Los parámetros de nivel superior como son: RM, SO, Bandera UEP para una alta protección de bytes, Tipo de código de audio y velocidad de muestreo de la entrada de audio, Esquema de

mapeo MSC y SDC, Velocidad de código MSC y SDC, Bandera de entrelazado: corta o larga, Nombre de la estación y mensaje de texto.

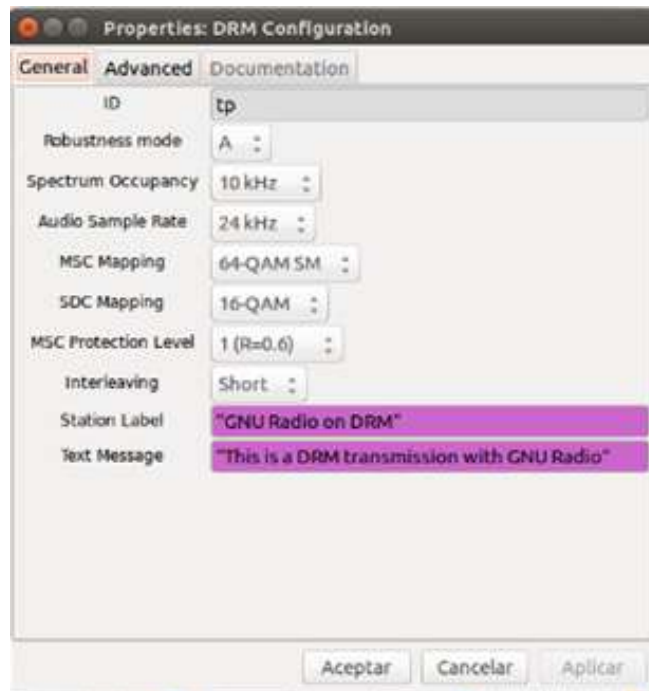


Figura 7-3. Configuración DRM.

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Una vez definidos los parámetros iniciales del sistema de transmisión, se generan la información que va a ser enviada por cada trama de datos MSC, SDC y FAC. La información del MSC la compone la fuente y la codificación de audio, mientras que las otras dos tramas son generadas automáticamente, ver **Figura 8-3**.

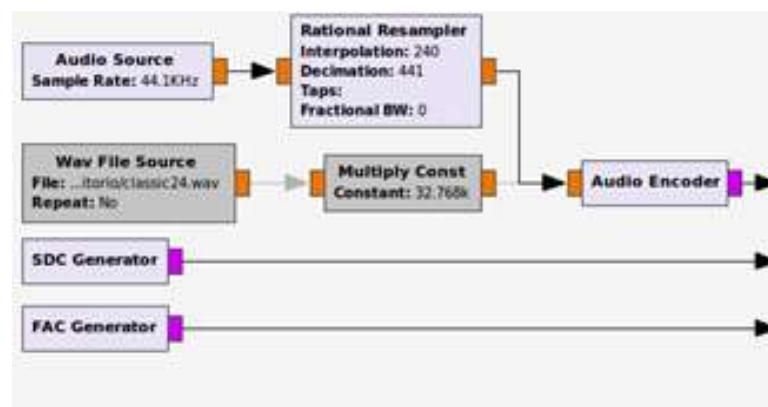


Figura 8-3. Tramas MSC, SDC y FAC.

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Fuente de audio: El canal MSC del codificador requiere como entrada un archivo de audio sin comprimir, es decir archivos en formato wave (.WAV). Para los canales FAC y

SDC, las entradas requeridas siguen el formato establecido por el estándar, ver **Figura 8-3**.

Codificación de audio: DRM utiliza los algoritmos de un subconjunto del estándar MPEG-4 para la codificación de audio. Existe una codificación para la música y dos para la voz. El subconjunto MPEG-4 AAC, que incluye herramientas de robustez contra errores para transmisiones en audio mono y estéreo. El subconjunto de MPEG-4 CELP, que codifica muestras de voz para así tener una mayor robustez en la transmisión de voz en mono, usado en los casos cuando se necesita una baja tasa de bits o se necesita alta robustez a los errores. El subconjunto de MPEG-4 HVXC, que codifica muestras de voz para tasas de bits muy bajas, lo que provee alta robustez a errores de transmisión de voz en mono. El estándar DRM utiliza el formato AAC¹⁷ para comprensión y codificación de audio el cual consta de dos modos: AAC y xHE-AAC. Estos modos se combinan con las herramientas SBR¹⁸ y PS¹⁹ con el objetivo de obtener una comprensión de mayor calidad, ver **Figura 8-3**.

Multiplexor: El multiplexor combina las transmisiones de audio y datos a un solo flujo de bits. En esto proceso, los servicios de datos pueden colocarse en la parte protegida superior o inferior, lo que permite protección contra errores para diferentes servicios. En el caso de la aplicación se enviará la información del texto y nombre de la estación transmisora, ver **Figura 9-3**.

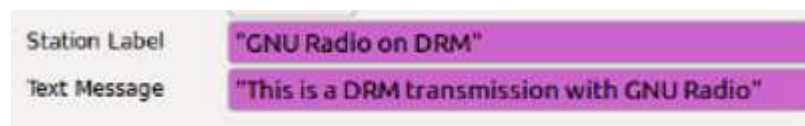


Figura 9-3. Datos enviados en la transmisión.

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Se añaden nuevos bloques que procesan la información de cada trama por separado. Estos bloques son el Scrambler y el MLC Factory Block, el primero realiza las funciones de dispersador de energía, mientras que el segundo la codificación del canal, ver **Figura 10-3**.

¹⁷ AAC: Advanced Audio Coding

¹⁸ SBR: Spectral Band Replication

¹⁹ PS: Parametric Stereo

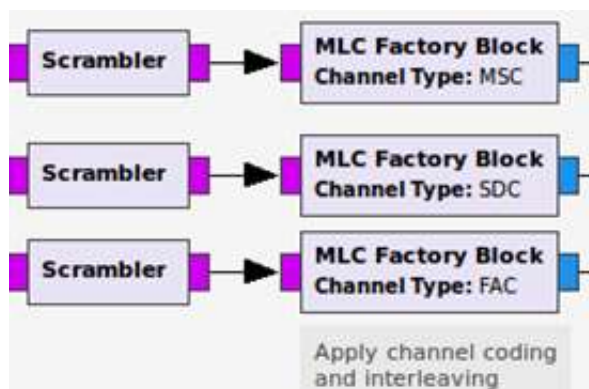


Figura 10-3. Dispersador de energía y Codificación de canal

Fuente: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Dispersador de energía: Como los patrones sistemáticos pueden dar como resultado una regularidad no deseada que afecta la señal transmitida o el procesamiento de la señal de forma negativa, los bits se codifican mediante la adición de una secuencia aleatoria de bits o PRBS²⁰, ver **Figura 11-3**. El objetivo de esta secuencia es romper cadenas largas de constantes o ceros para crear una distribución uniforme entre los bits. La secuencia PRBS se genera con un Registro de desplazamiento de retroalimentación lineal o LFSR que utiliza el siguiente polinomio:

$$P(x) = x^9 + x^5 + 1$$

Ecuación 1-3

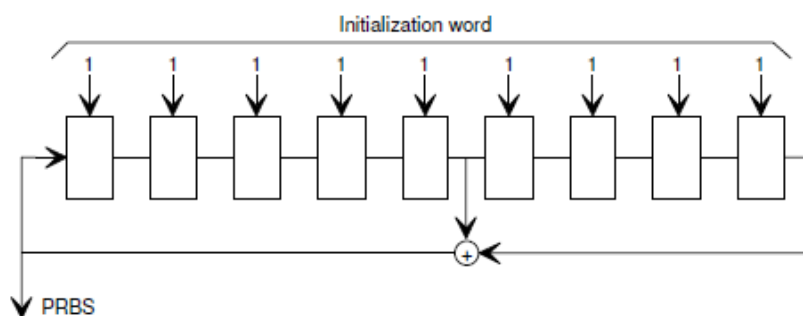


Figura 11-3. Generación de PRBS con el uso de shift registers

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Codificación de canal: Al utilizar QAM el estándar DRM las posiciones de bits más propensos a tener errores consiguen mayor protección. Una decodificación eficiente es necesaria para que los datos sean recibidos correctamente, siempre que exista una

²⁰ PRBS: Pseudo Random Bit Sequence

diferencia resultante en las relaciones de señal a ruido en los canales MSC y SDC. Esta diferencia se lleva a cabo cuando el MSC utiliza 64-QAM y el SDC 16-QAM, de la misma forma cuando el MSC utiliza 16-QAM y el SDC 4-QAM.

Entrelazado de células: El entrelazado de células solo se usa para el MSC y realiza un entrelazado en el dominio de frecuencia.

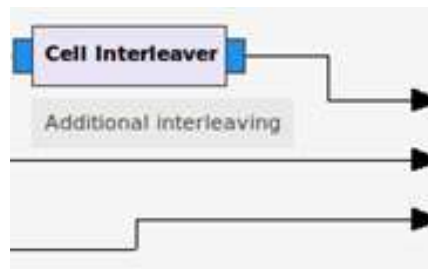


Figura 12-3. Entrelazado de células

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

El principio del entrelazado de células se puede apreciar en la **Figura 13-2**.

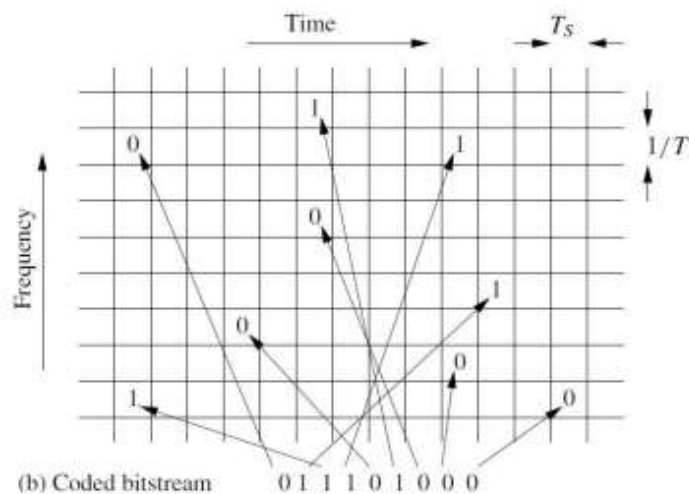


Figura 13-2. Entrelazado en tiempo y frecuencia

Fuente: (ETSI, 2009)

Utiliza el mismo algoritmo de entrelazado que el entrelazado de bits, pero también ofrece un modo "entrelazado largo". En este modo, se utiliza un esquema convolucional para aumentar la robustez de transmisiones en canales que sufren un desvanecimiento severo selectivo en tiempo y frecuencia como es típico para frecuencias inferiores a 30 MHz. El retraso del entrelazado siempre es un número entero múltiplo de la longitud de un cuadro de transmisión. DRM30 usa un factor de $D = 5$ y para DRM+ un valor de $D = 6$. Se

determina un tiempo como compensación óptima entre el rendimiento y retraso de procesamiento; en el caso de DRM30, esto resulta en un retraso total de 2.4 segundos, ver **Figura 14-3**.

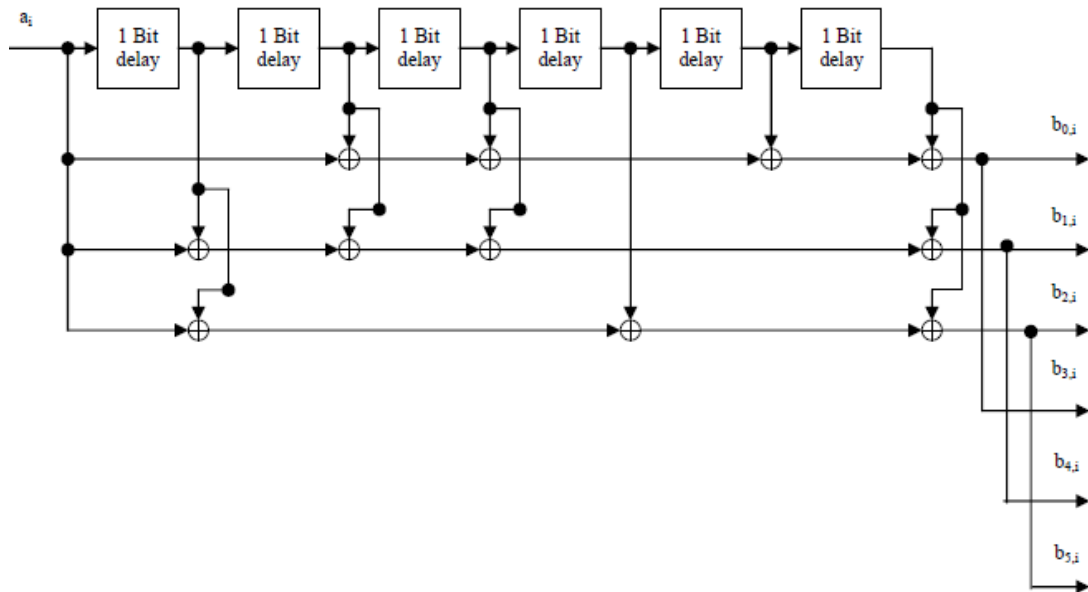


Figura 14-3. Codificador Convolutivo

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Mapeo de células OFDM: El mapeo de células OFDM coloca las células MSC, SDC y FAC en el plano de tiempo-frecuencia llamada trama de transmisión. Una trama de transmisión consiste en una concatenación de un cierto número de símbolos OFDM que está determinado por la elección del RM. Además, múltiples tramas de transmisión se agrupan en una supertrama de transmisión, ver **Figura 15-3**.

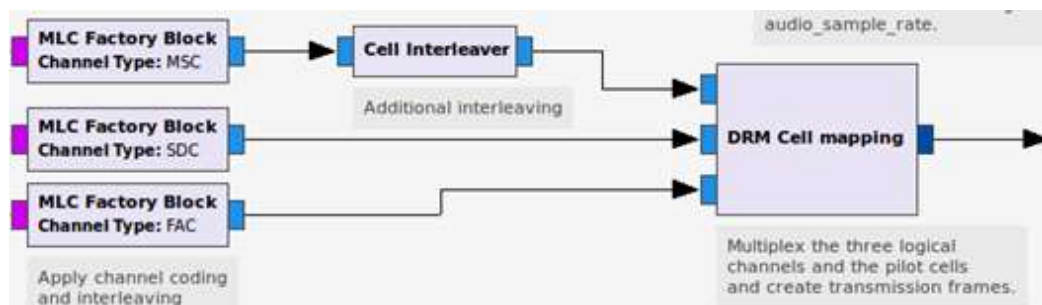


Figura 15-3. Mapeo de Células OFDM y Células Piloto

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Además de los tres canales, hay cuatro diferentes símbolos piloto o de referencia que ayudan en la demodulación del receptor. Las células de referencia de frecuencia representan ondas sinusoidales continuas a 750 Hz, 2250 Hz y 3000 Hz. Se utilizan para

la detección de una señal DRM y corrección de desplazamiento de frecuencia. Estas las células no están presentes en RM E, DRM +.

Las células de referencia de tiempo se pueden encontrar en cada primer símbolo de una trama de transmisión y, por lo tanto, se utilizan para la sincronización de cuadros y para la resolución de ambigüedad causada por el tiempo de corrección de guarda. Cuando se utiliza QAM, se insertan celdas de referencia de ganancia para ayudar a la demodulación coherente. Esta es por eso que están dispersos en todo el plano de tiempo-frecuencia para permitir el cálculo adecuado de los coeficientes del canal. Las células ubicadas en los portadores de borde están sobreexcitadas para mejorar el rendimiento a bajos niveles de relación de señal a ruido (SNR).

El último tipo de células de referencia son las de AFS²¹. Es un sistema especial en DRM que permite comunicarle al receptor, si hay frecuencias alternativas posibles, donde el mismo contenido se está transmitiendo. Por lo tanto, los receptores tienen múltiples frecuencias a su disposición, de las cuales pueden elegir la que ofrece la mejor calidad de recepción.

Generación de señal OFDM: Para convertir la señal del dominio de frecuencia al dominio de tiempo, se utiliza la Transformada Discreta de Fourier Inversa (IDFT) o su versión computacional más eficiente, Transformada Rápida de Fourier Inversa (IFFT), ver **Figura 16-3**.

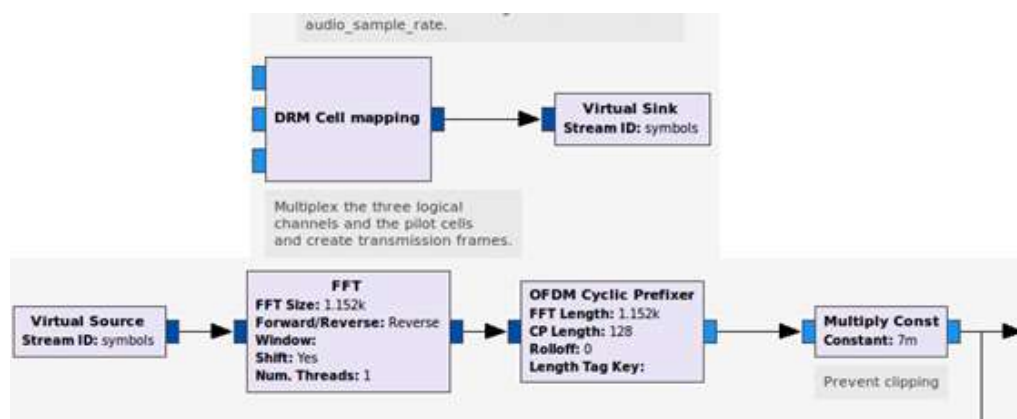


Figura 16-3. Generación de señal OFDM

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

²¹ AFS: Conmutación de frecuencia alternativa

Para OFDM también se inserta un prefijo cíclico para el manejo de varios trayectos. La duración varía con la elección del RM. En DRM30, puede ser de hasta 7.33 ms de duración y por lo tanto cubrir trayectos múltiples con una longitud de 2200 km. El prefijo cíclico en DRM + está fijado a una duración más corta de 0.25 ms y, por lo tanto, maneja componentes multitrayecto con una longitud de hasta 75 km.

Configurar las características del sistema de transmisión

En este proyecto el codificador será implementado para el modo de robustez²² A, B, C con un valor de Ocupación del Espectro²³ igual a 2,3 y 4 lo que corresponde a un ancho de banda de 5,10 y 20kHz respectivamente, y utilizando únicamente EEP. Para el mapeo de los canales MSC, SDC, FAC se usara el mapeo estándar²⁴ con 16-QAM para el MSC y 4-QAM para el SDC y FAC. La tasa de código es de 0.5. El entrelazado de células será largo.



Figura 17-3. Interfaz GUI DRM Transmitter

Fuente: (PÉREZ, Juan J., 2018)

²² RM: Modo de robustez

²³ SO: Ocupación Espectral

²⁴ SM: Mapeo Estandar

Ejecutar el programa de transmisión (GNURadio, GNURadio GUI)

Se desarrolló una interfaz gráfica para la configuración y transmisión de la señal en DRM, siendo mucho más intuitiva para usuarios en general, como se puede ver en la **Figura 17-3**.

En la **Figura 18-3** y en la **Figura 19-3** se puede observar la señal emitida por el transmisor.

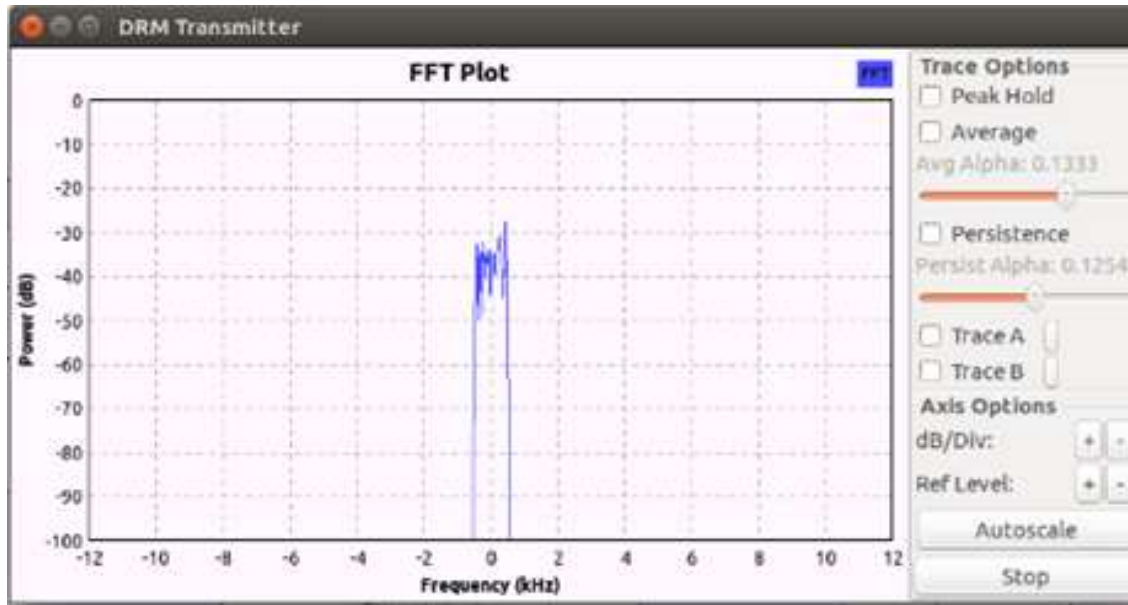


Figura 18-3. Análisis espectral señal emitida por el transmisor.

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

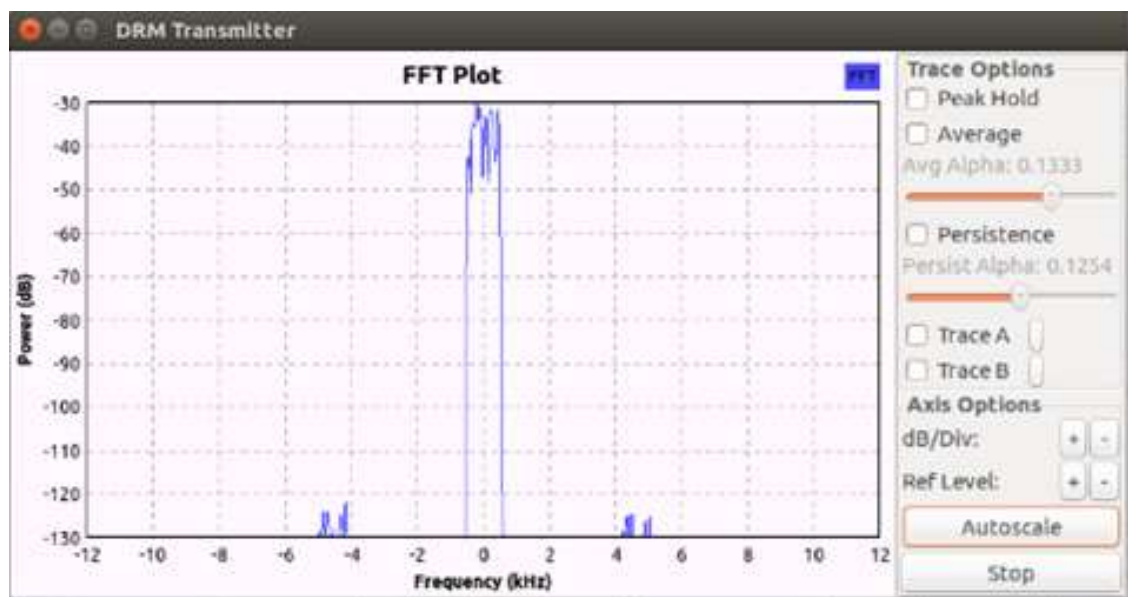


Figura 19-3. Análisis espectral señal emitida por el transmisor.

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Para la puesta en marcha del sistema de transmisión se ejecuta el flow graph. Como se puede observar en las **Figura 20-3** y **Figura 21-3**, en las cuales se realiza la transmisión de una señal desde un archivo de audio, posteriormente de una señal generada a través de un módulo de GNU Radio.

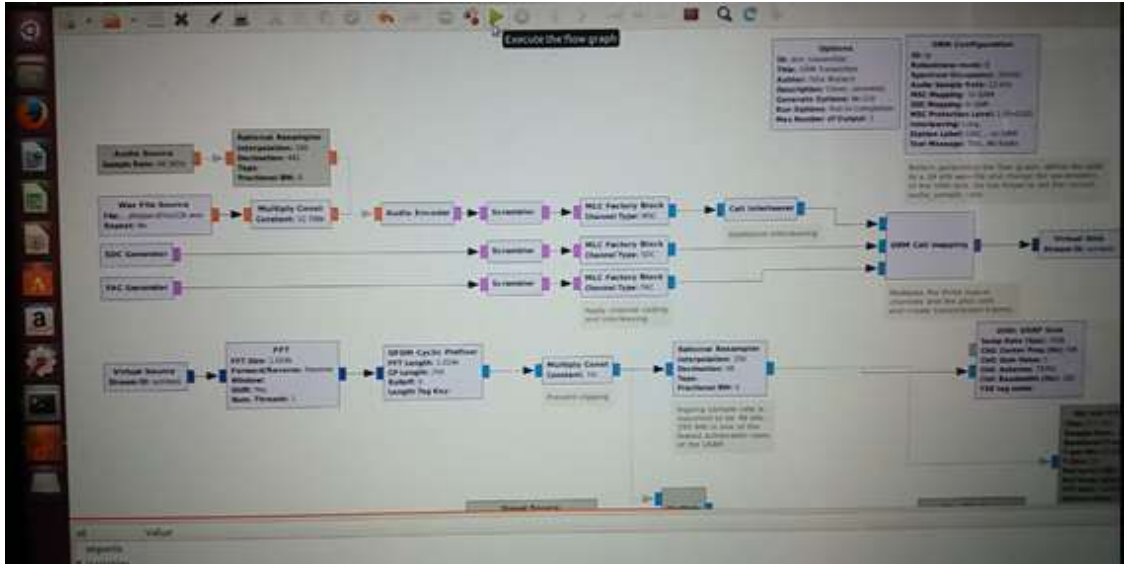


Figura 20-3. Puesta en marcha del sistema. Execute flow graph

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

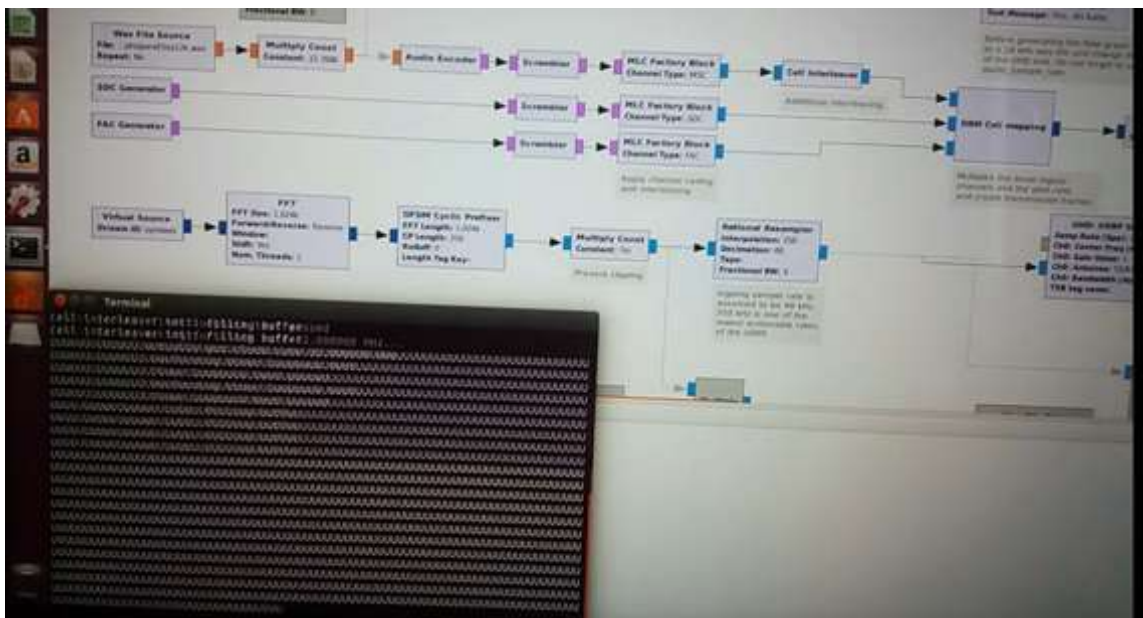


Figura 21-3. Ejecución del código del transmisor en modo No GUI

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Para comprobar que la señal se ha transmitido se corrobora con la utilización de un analizador de espectros. Como se puede comprobar en las **Figura 22-3, Figura 23-3 y Figura 24-3.**

Complementario a la transmisión de la señal se puede generar un archivo en .WAV codificado y modulado con DRM, para ser procesado a través del software Dream SDR.



Figura 22-3. Tarjeta USRP y señal mostrada en el analizador de espectros.

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

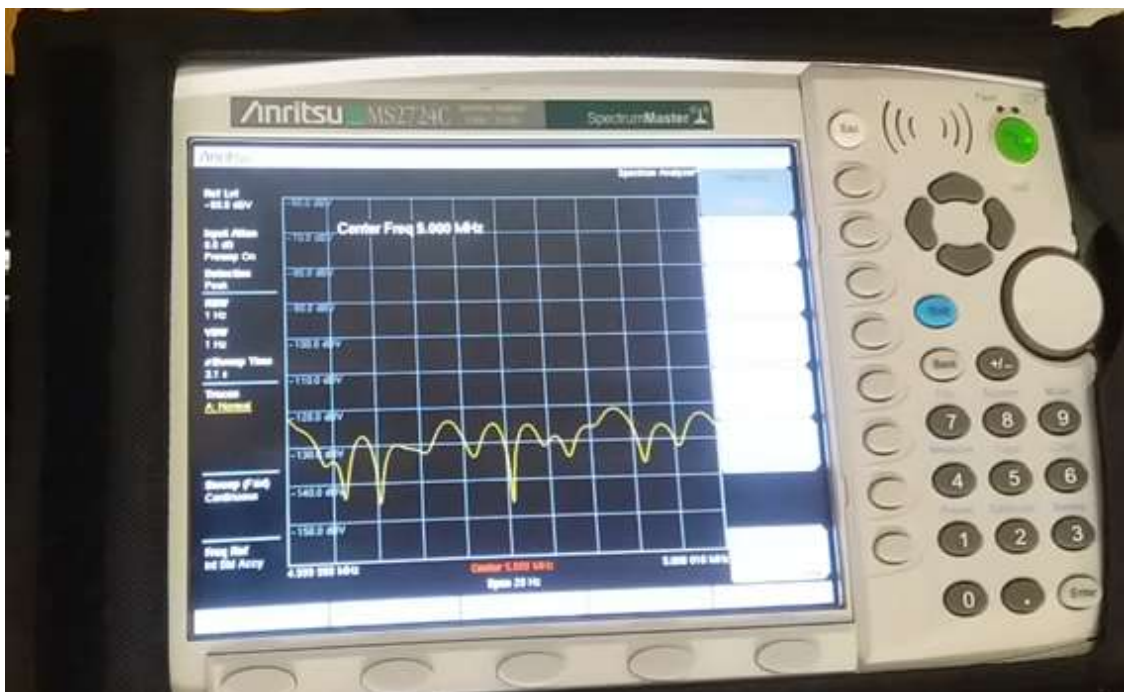


Figura 23-3. Señal transmitida, mostrada en el analizador de espectros.

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

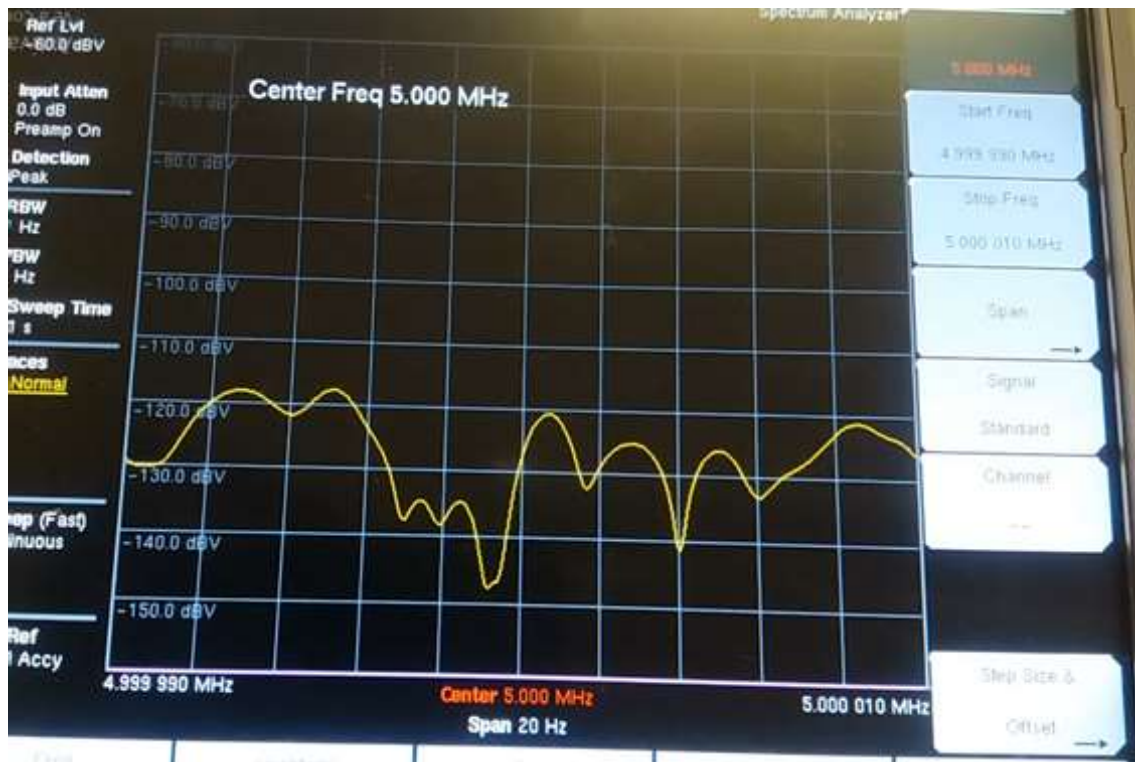


Figura 24-3. Señal transmitida a 5 MHz

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Preparación del sistema recepción

Para la recepción de la señal se probaron varios tipos de tarjetas, siendo Ettus USRP N210, HackRF One y RTL-SDR REALTEK RTL2832U VERSIÓN R820T E4000, las que funcionaron en el sistema de recepción. El software a utilizar en el sistema de recepción lo componen dos HSDR y Dream SDR.

HSDR

Para utilizar o controlar un receptor directamente desde HSDR, se debe instalar una librería externa denominada DLL ExtIO. Cada tarjeta dispone de su propia DLL la cual está alojada en la propia web del fabricante, el archivo DLL es desarrollado para 32 bits [x86]. En este caso se colocará la DLL para la tarjeta HackRF One (No Transmit capability), USRP N210, USRP B200, RTLSDR (DVB-T/DAB with RTL2832) USB. Para el proceso de la captura de la señal se escoge la DLL asociada a la tarjeta de captura de la señal. En la **Figura 25-3**, se puede apreciar las DLL, en el caso de ExtIO_RTL.dll sería la DLL a utilizar para la tarjeta RTL-SDR REALTEK RTL2832U VERSIÓN R820T E4000.

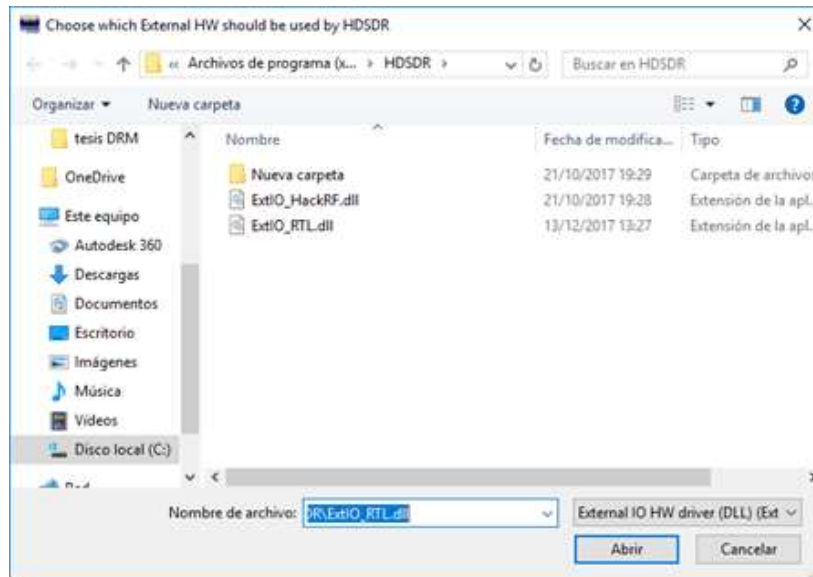


Figura 25-3. DLLs de HSDR

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Para realizar la captura de la señal se procede a dar click en el botón start, no sin antes haber seleccionado la frecuencia y la banda en la cual se va a realizar la captura, ver **Figura 26-3.**

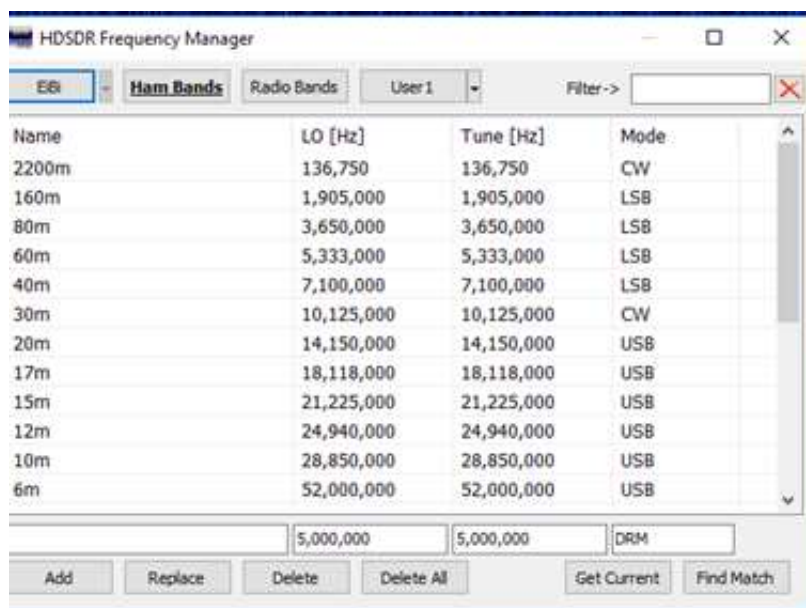


Figura 26-3. Sintonizador de un rango de frecuencias en HSDR.

Fuente: (PÉREZ, Juan J., 2018)

A través de HSDR se realizó la captura de varias señales, como se puede observar en la **Figura 27** y **Figura 28.** Claramente se puede distinguir en el análisis espectral la potencia de la señal recibida.

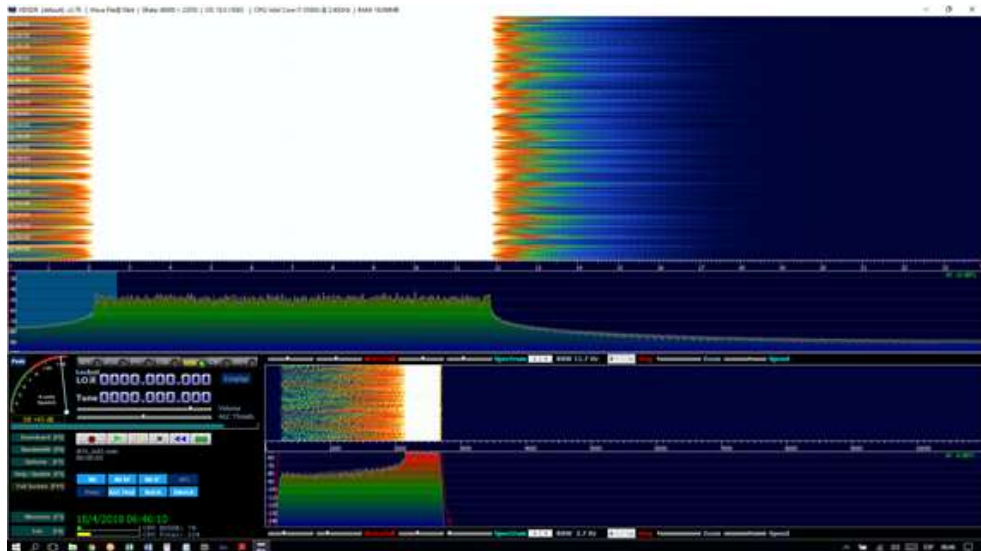


Figura 27-3. Muestra de captura de señal de radio en DRM.

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

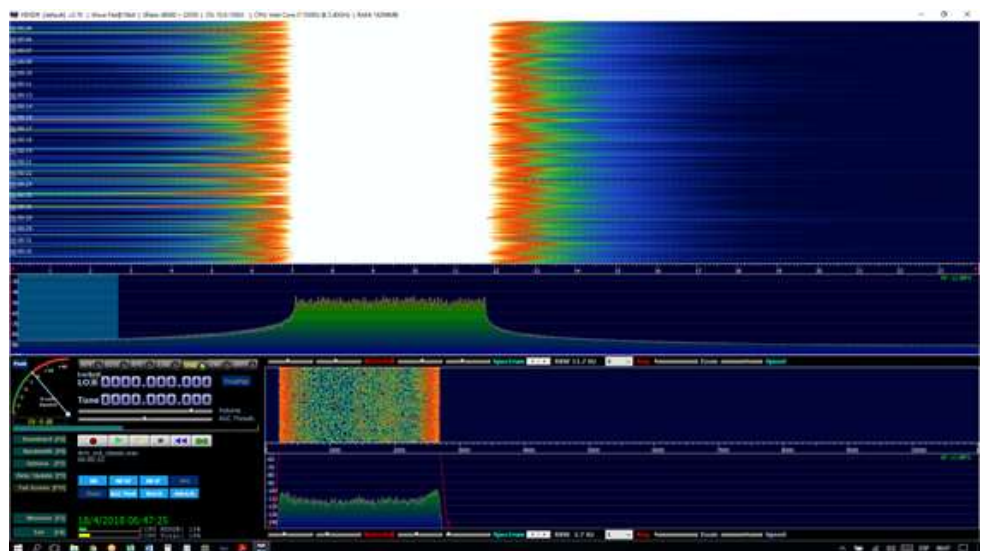


Figura 28-3. Muestra de captura de señal de radio en DRM.

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Dream SDR

El software Dream SDR me permite realizar un análisis completo de las señales transmitidas en el formato DRM. Para recibir DRM con HSDR se necesitará lo siguiente:

- Un periférico de Software Defined Radio (SDR): HackRF One, Ettus N210, RTL-SDR REALTEK RTL2832U VERSIÓN R820T E4000
- El software de decodificación DREAM DRM con decodificador AAC.
- Virtual Audio Cable or VB-Cable.

El software Virtual Audio Cable se utiliza para enviar transmisiones de audio entre HDSDR y otro programa, en este caso DREAM SDR. Solo se necesita un cable para recibir. Establezca HDSDR " RX Output (Speaker)" en el cable virtual 2. Establezca la entrada de DREAM SDR en el cable virtual 4. El VAC Audio Repeater se puede usar para enviar audio a los altavoces.

En el control Panel de Virtual Audio Cable seleccione un cable, y se hace clic en "Set" para instalar, uno o más cables de ser el caso, ver **Figura 29-3**. Los ajustes predeterminados funcionan correctamente, pero es posible que deba aumentar el rango de Frecuencia de muestreo (SR) para aplicaciones que requieren tasas más altas o más bajas. EL siguiente paso es configurar los cables virtuales entre HDSDR y Dream SDR, ver **Figura 30-3, Figura 31-3**.

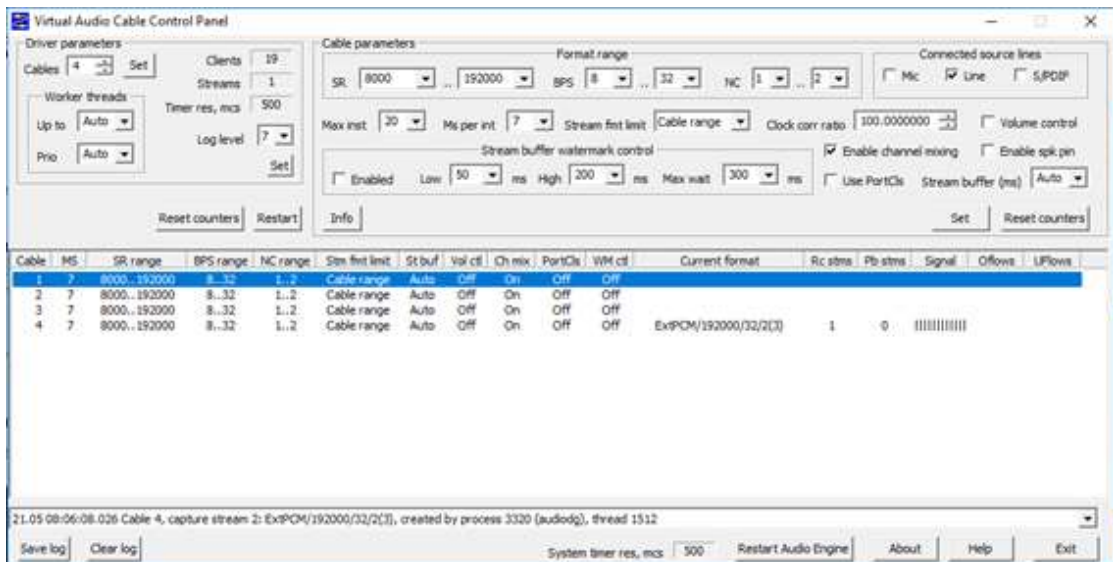


Figura 29-3. Control Panel de Virtual Audio Cable

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

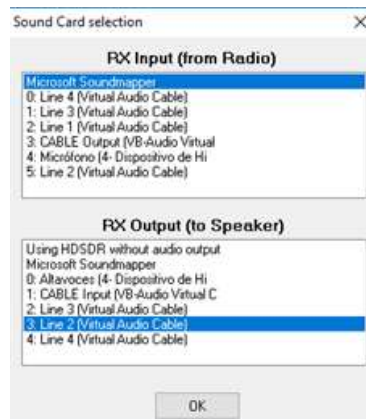


Figura 30-3. Menú de soundcard de HDSDR

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

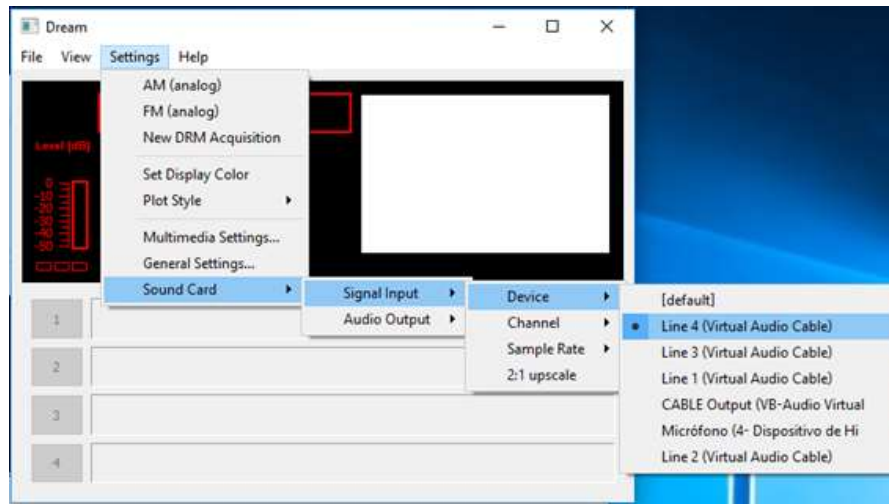


Figura 31-3. Menú de soundcard de Dream SDR

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Para enlazar los dos sistemas se debe ejecutar el "VAC Audio Repeater" que permite que la transmisión de VAC pase de un cable a otro, ver **Figura 32-3**.

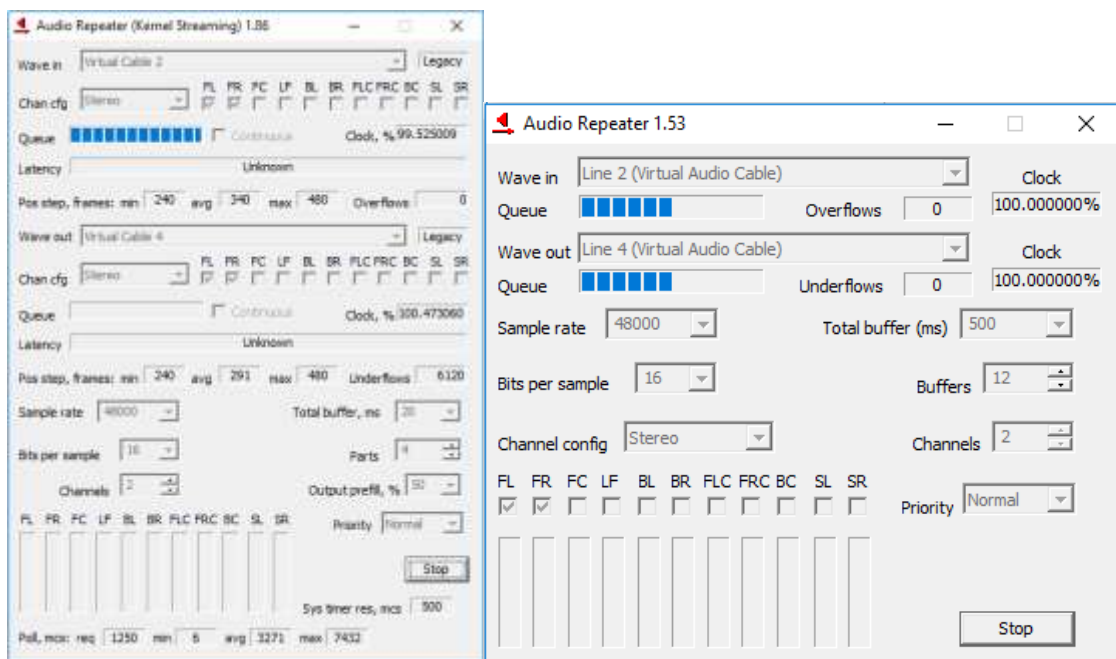


Figura 32-3. VAC Audio Repeater

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

3.7.3.4. *Procesamiento de datos*

Para la prueba del sistema se lo realizará de dos maneras. La señal generada por parte del transmisor desarrollado en GNU Radio. Y a través de la carga de archivos codificados que se han grabado de transmisiones reales con el estándar DRM.



Figura 33-3. Transmisión y recepción de señales en DRM.

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

En la **Figura 33-3** se observa cómo se realiza la transmisión y recepción de la señal a través de las dos computadoras. La **Figura 34-3** muestra la pantalla principal del software DREAM en la cual se puede apreciar el nombre de la estación y la codificación del audio.

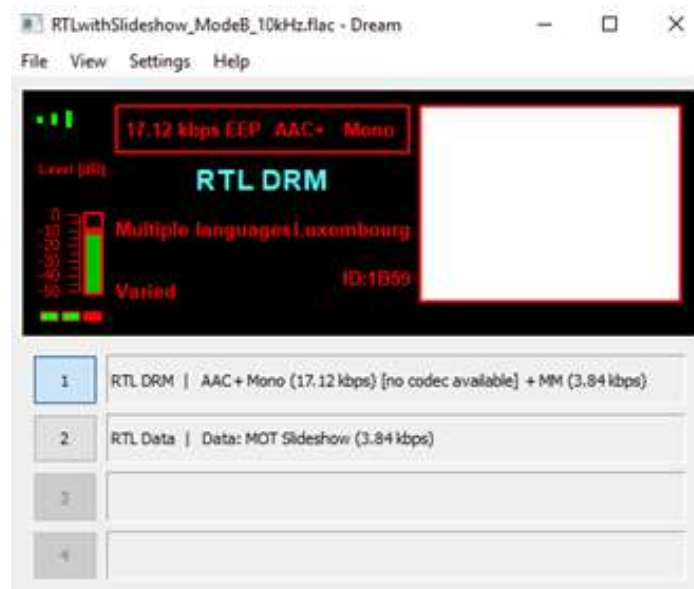


Figura 34-3. Pantalla principal DREAM.

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

En la **Figura 35-3**, **Figura 36-3** y **Figura 37-3** muestra el análisis espectral de la señal en la cual se puede apreciar el ancho de banda ocupado por la señal, además de la potencia de la misma definida en decibelios. Utiliza el modo B con un ancho de banda de 10 kHz

con un entrelazado largo. La modulación para el canal MSC es de 64-QAM y del SDC es 16-QAM.

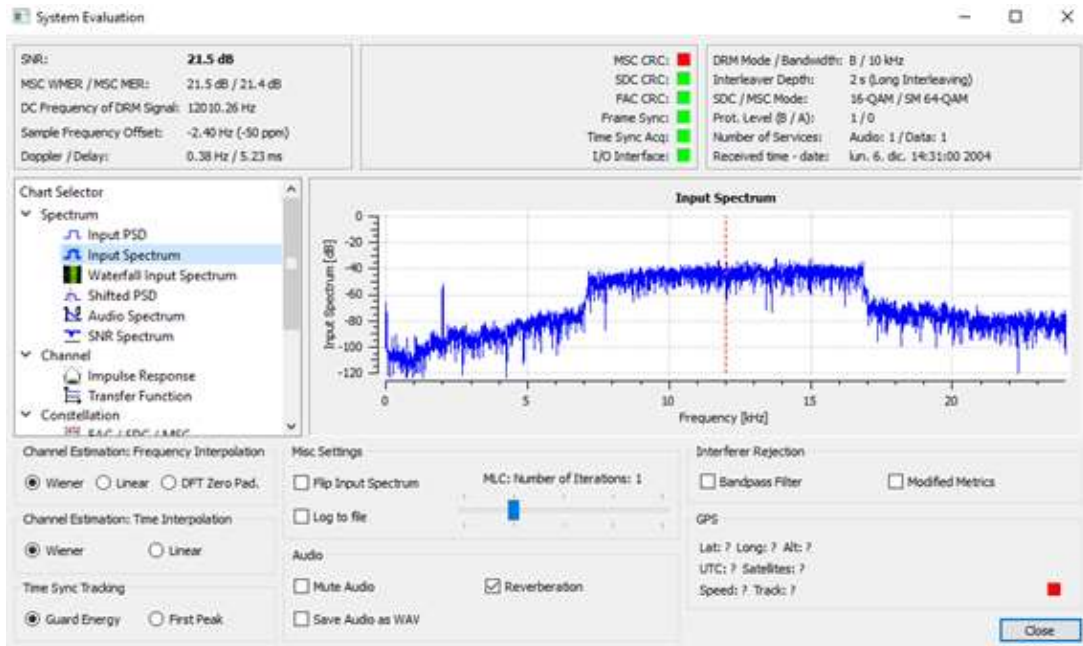


Figura 35-3. Análisis espectral de la señal transmitida

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

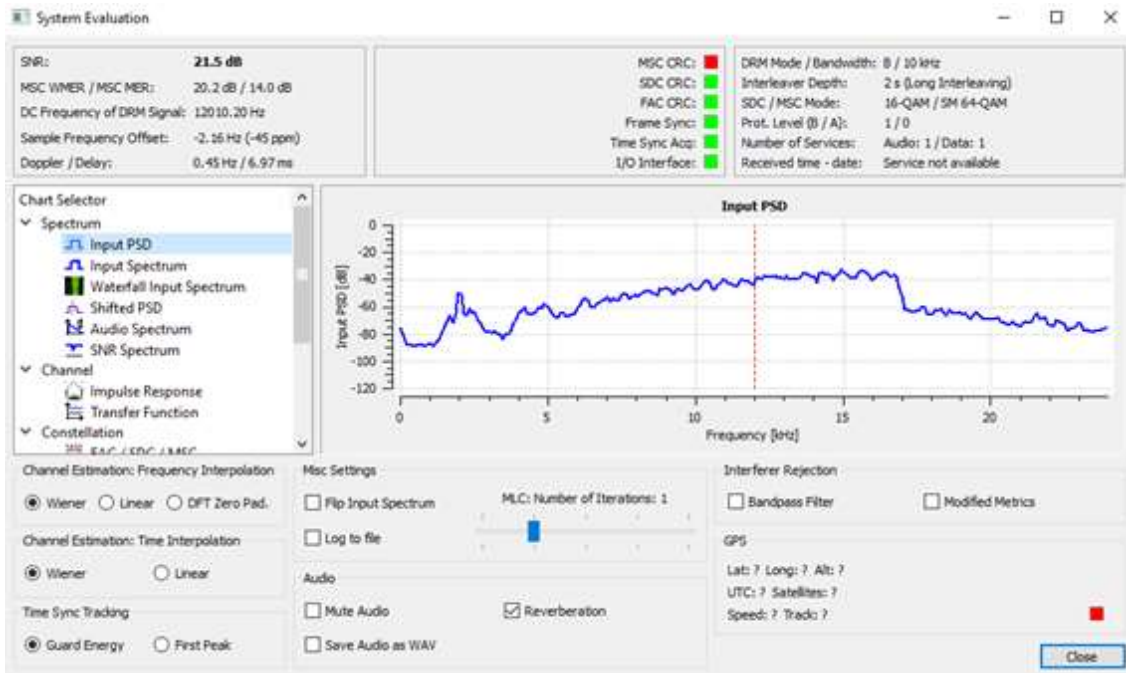


Figura 36-3. Análisis espectral de la señal transmitida procesada digitalmente.

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

En la **Figura 37-3** se puede apreciar el análisis espectral de la señal con los niveles de potencia definidos por los colores. La señal ocupa un ancho de banda de 10 kHz.

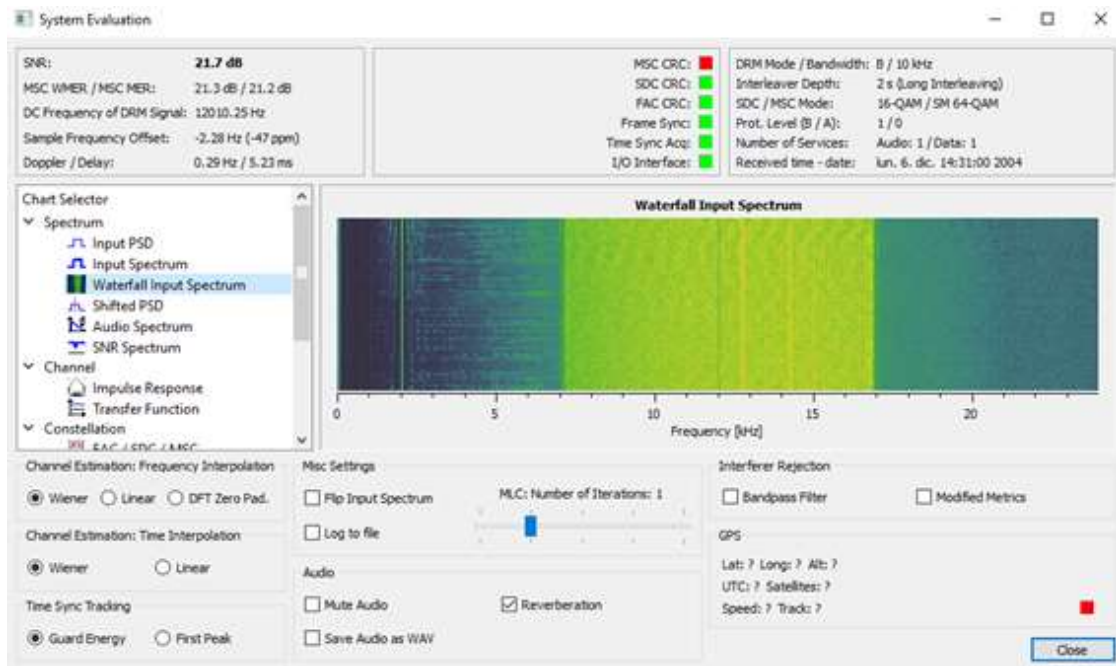


Figura 37-3. Análisis espectral de la señal transmitida por una ventana espectral

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

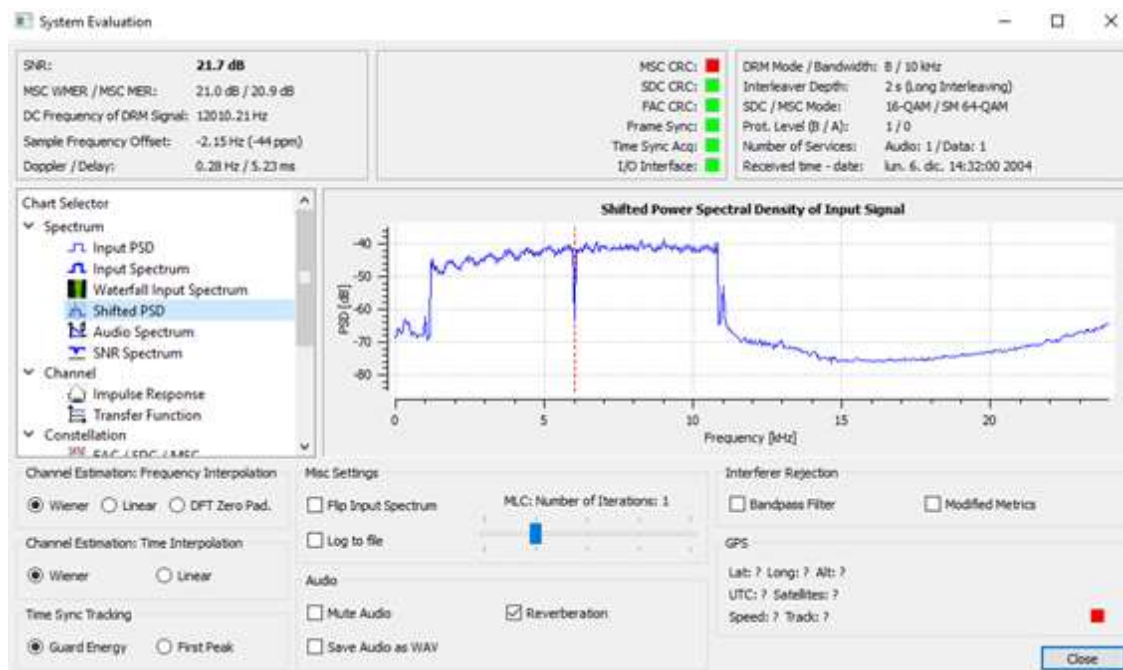


Figura 38-3. Análisis espectral de la señal transmitida por Shifted PSD

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

La señal se mantiene estable en 21,6 dB siendo posible verificar la señal en la **Figura 39-3**.

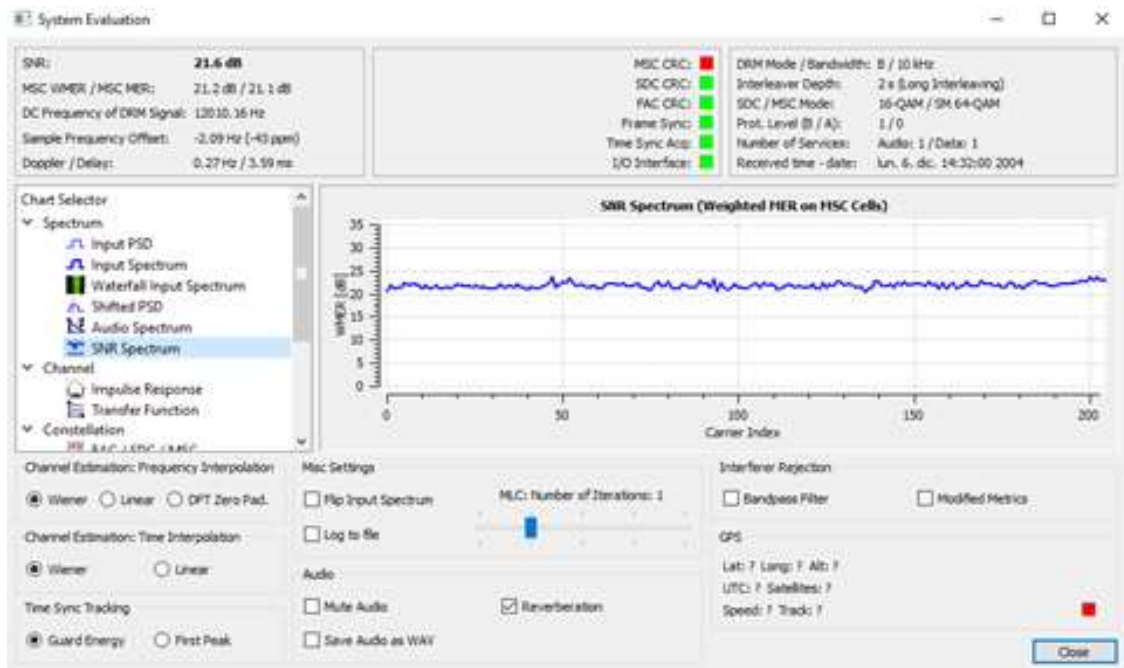


Figura 39-3. Análisis espectral de la relación señal a ruido SNR.

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

La **Figura 40-3** muestra el diagrama de constelaciones de los canales MSC, SDC y FAC.

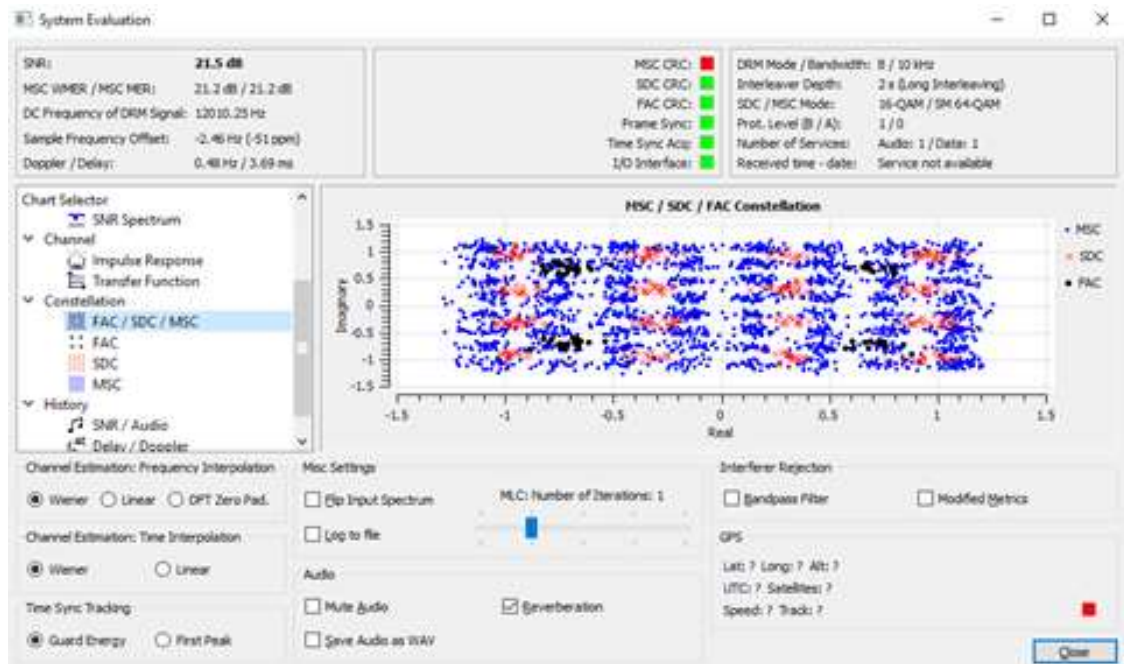


Figura 40-3. Diagrama de constelación de los Canales de codificación MSC, FAC SDC

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

La **Figura 41-3** muestra el diagrama de constelación del canal FAC, en este caso sería de 4-QAM.

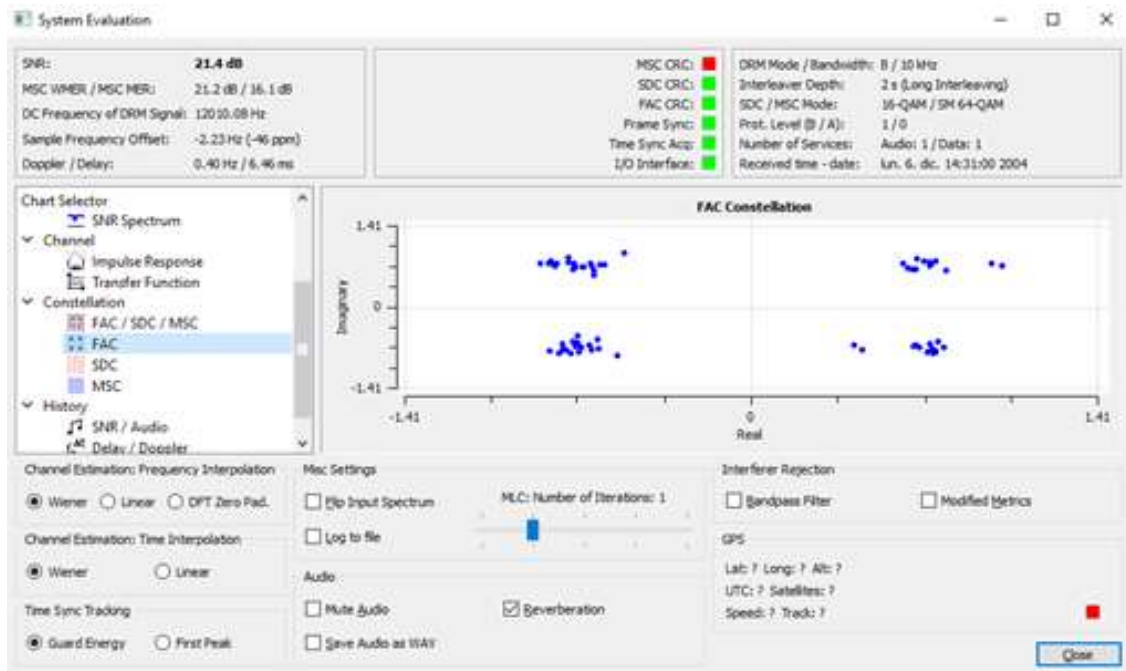


Figura 41-3. Diagrama de constelación de los Canales de codificación FAC

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

La **Figura 42-3** muestra el diagrama de constelación del canal SDC, en este caso sería de una modulación de 16-QAM.

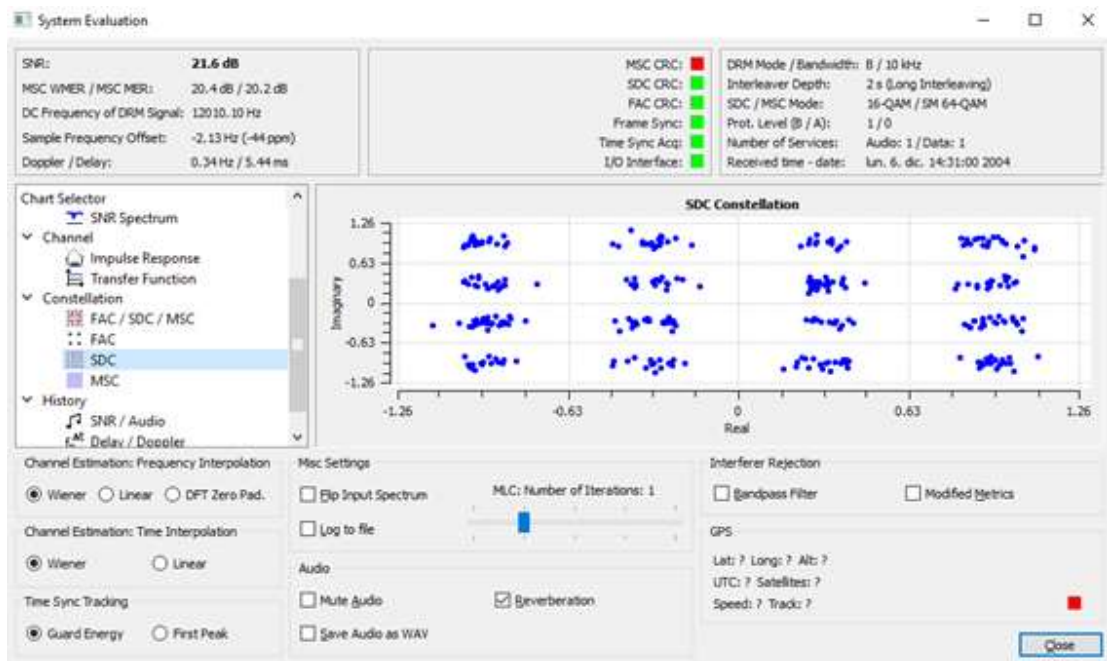


Figura 42-3. Diagrama de constelación de los Canales de codificación SDC

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

La **Figura 43-3** muestra el diagrama de constelación del canal MSC, en este caso sería de una modulación de 64-QAM.

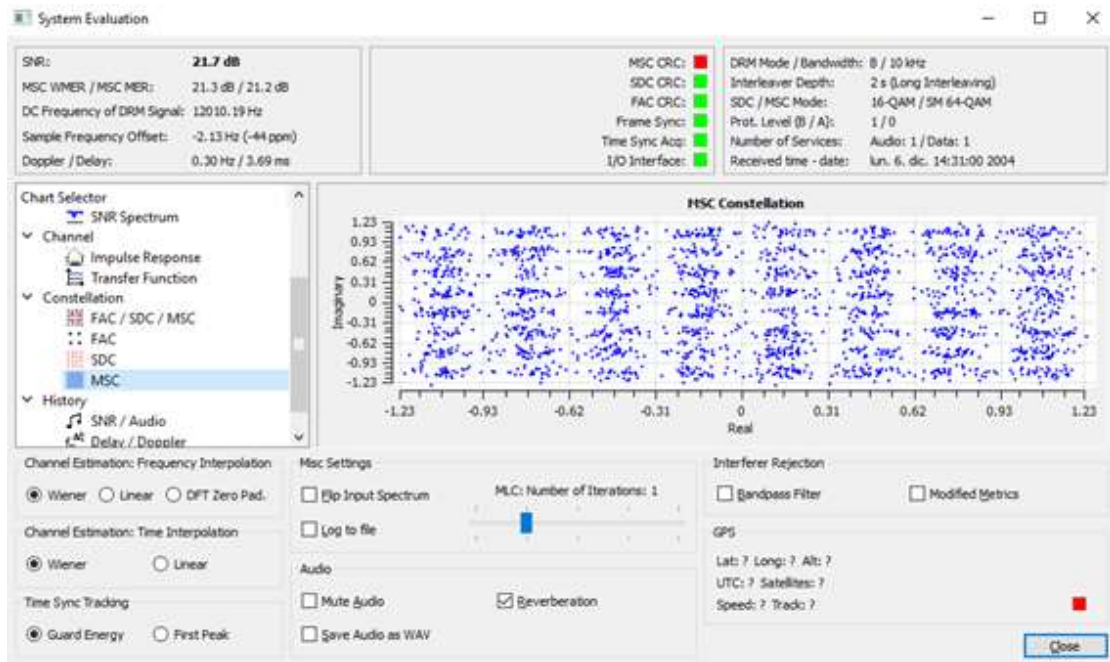


Figura 43-3. Diagrama de constelación de los Canales de codificación MSC
 Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

La **Figura 44-3** muestra la relación señal a ruido con respecto al audio.

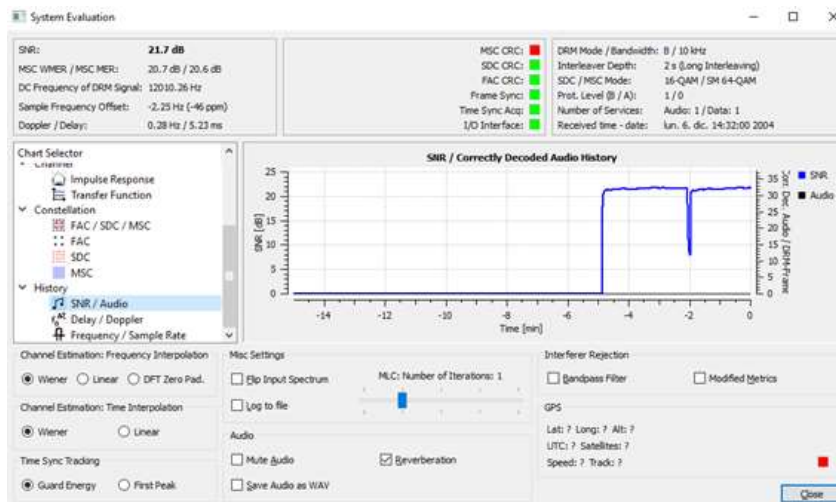


Figura 44-3. Relación señal a ruido con respecto al audio
 Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

3.7.3.5. Muestra de resultados

Para presentación de los resultados se usó figuras. Estos valores de las características de las señales serán los niveles de la calidad de servicio valorados en la velocidad de transmisión (bps) y la relación e señal a ruido (SNR) para determinar la fidelidad en la recepción de señales digitales. Cumpliendo con uno de los objetivos específicos.

CAPÍTULO IV

4. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

4.1. Obtención y Análisis de Resultados

A continuación, se detalla los resultados de los valores de la velocidad de transmisión (bps) y la relación e señal a ruido (SNR), operando en diferentes condiciones de medio de transmisión determinado por el modo de transmisión y ancho de banda.

Se analizó los valores de la velocidad de transmisión (bps) y la relación e señal a ruido (SNR) obtenidos por el sistema de recepción. Los valores obtenidos son aceptables debido a las características de cada modo de transmisión en cuanto a la velocidad de transmisión. La relación de señal a ruido es más estable con un ancho de banda menor, observando que el sistema es muy estable para operar en Modo A y Modo B con un ancho de banda de 5 kHz; condiciones propicias para transmisiones de señales en ambientes similares a los que operan las estaciones de transmisión en AM.

Además de los resultados arrojados en un ambiente de laboratorio, se realizó una investigación de campo a través de encuestas. Las encuestas ayudaron a conocer el nivel de sintonía de la radio en el sector rural de las comunidades de Colta y Riobamba para determinar la utilidad que tiene todavía la radio y sus servicios complementarios.

Se analizó los resultados obtenidos de las encuestas, observando que en los sectores rurales la radio sigue siendo útil como medio de comunicación. Las frecuencias sintonizadas son en AM y FM. Si la señal de AM mejoraría la calidad y tenga una mejor fiabilidad, rapidez y operatividad permitiría que más personas ocupen la radio como medio de comunicación masiva.

4.1.1. *Análisis de los valores de la velocidad de transmisión (bps) y la relación e señal a ruido (SNR) y discusión de resultados*

Se analiza las señales recibidas en Dream SDR con la variación de los parámetros de transmisión: control de la ocupación del espectro (SO), el ancho de banda de la señal y el modo de robustez (RM), que establecen las bases para diferentes ambientes de transmisión y por ende una mejor protección contra errores. Donde se obtiene el espectro de la señal recibida, el espectro de la relación señal a ruido, la velocidad de transmisión, y las distintas constelaciones de la modulación utilizada en cada uno de los canales de información: MSC, SDC, FAC.

4.1.1.1. *Evaluación de las señales generadas por el sistema de transmisión en GNU Radio*

En la fotografía se muestra el sistema de transmisión en GNU Radio y recepción en Dream SDR.



Figura 1-4. Recepción de la señal en HSDR y Dream SDR

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)



Figura 2-4. Transmisión de la señal el GNU Radio

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

En las siguientes figuras, se puede observar la recepción de la señal en DRM con modo de robustez A, ancho de banda de 5kHz, con una ocupación espectral e 3, una tasa de código de 0.5, y un entrelazado largo.



Figura 3-4. Pantalla principal DREAM. Modo A, Ancho de Banda 5kHz
Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

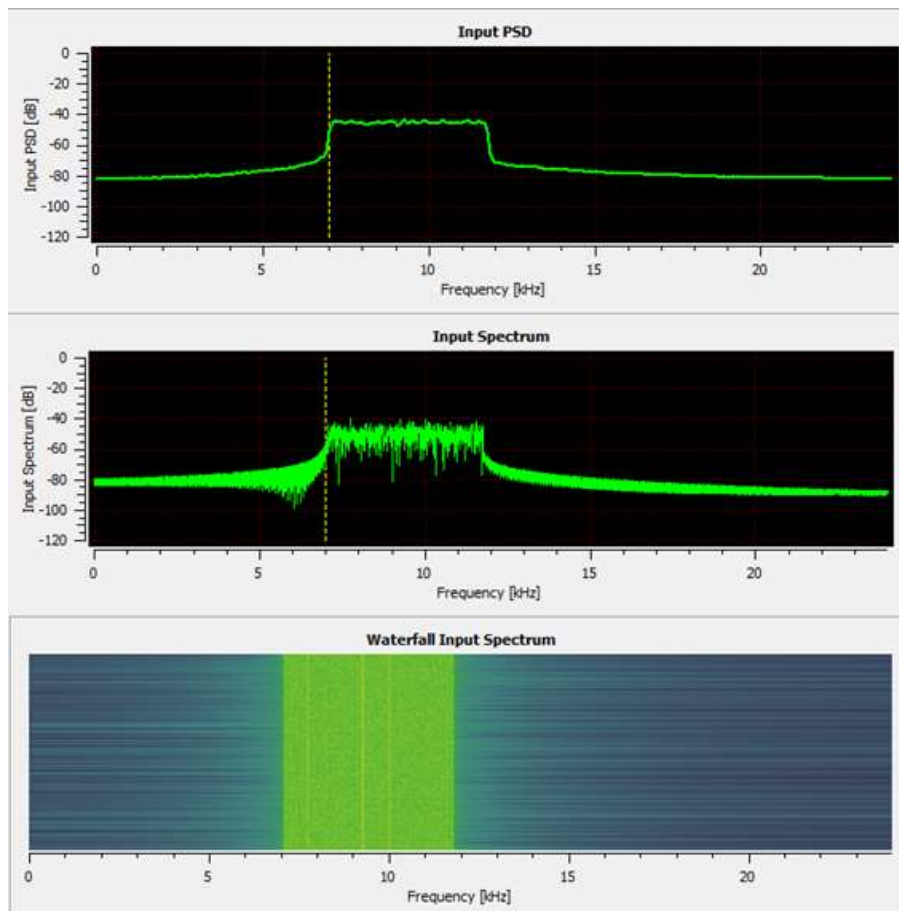


Figura 4-4. Input Spectrum
Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

El canal MSC esta modulado en 64-QAM. El canal SDC está modulado en 16-QAM. La relación señal a ruido (SNR) promedio es de 35.7 dB.

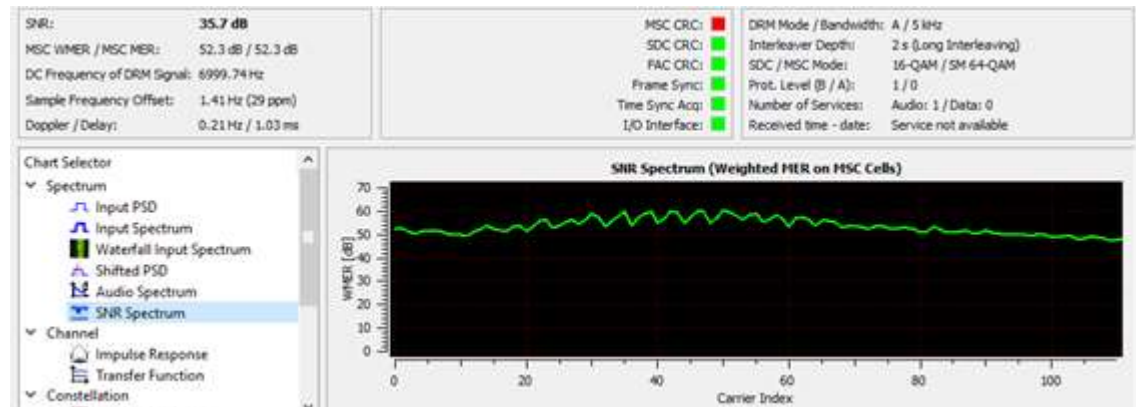


Figura 5-4. Pantalla principal SNR Spectrum. Modo A, Ancho de Banda 5kHz

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

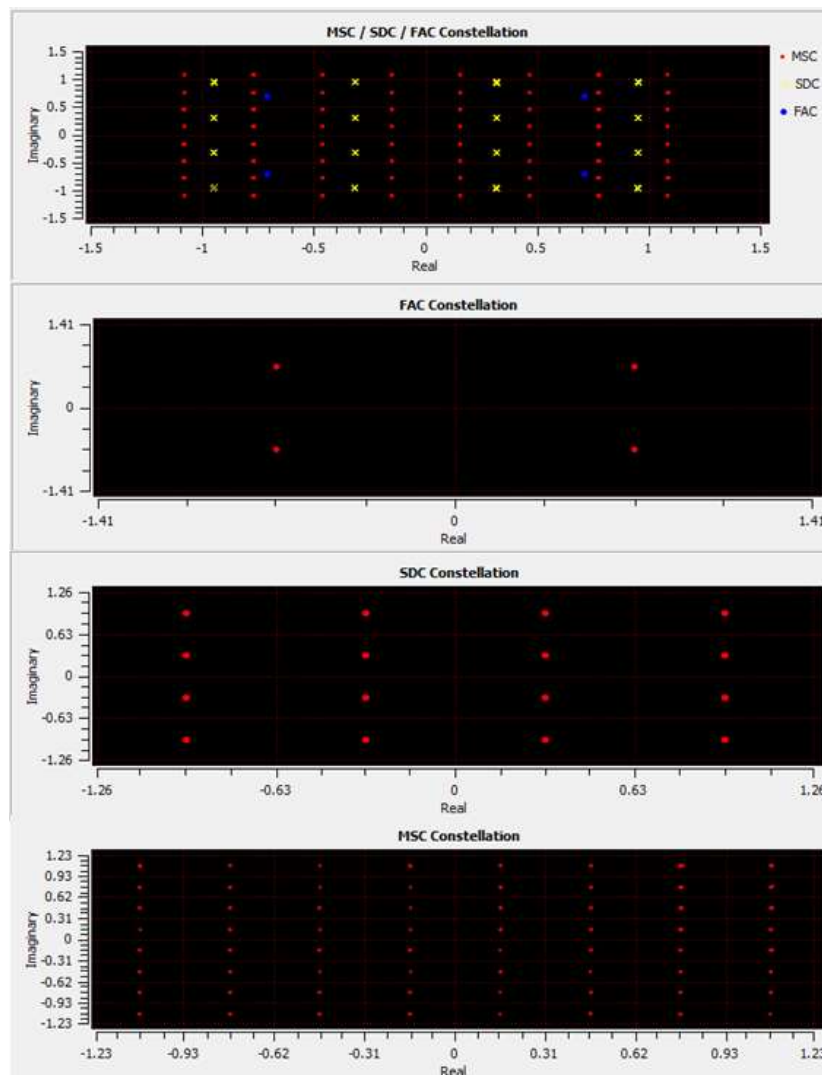


Figura 6-4. Diagrama de constelación de la modulación QAM

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Existe una variación en la frecuencia de transmisión, determinada por la frecuencia doppler de 0.21 Hz, existiendo un retraso de 1.03 ms máximos.

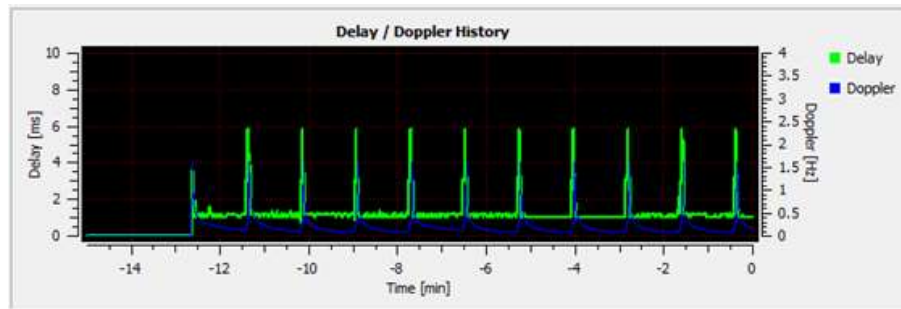


Figura 7-4. Frecuencia doppler y retraso

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

En las siguientes figuras, se puede observar la recepción de la señal en DRM con modo de robustez B, ancho de banda de 5kHz, con una ocupación espectral e 3, una tasa de código de 0.5, y un entrelazado largo.



Figura 8-4. Pantalla principal DREAM. Modo B, Ancho de Banda 5kHz

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

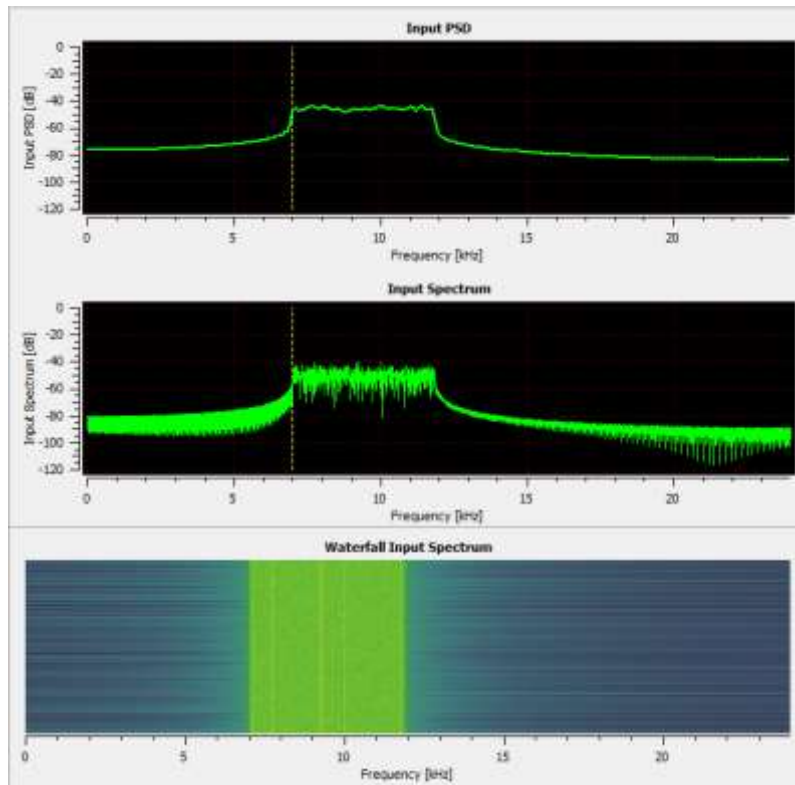


Figura 9-4. Input Spectrum

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

El canal MSC esta modulado en 16-QAM. El canal SDC está modulado en 4-QAM. La relación señal a ruido (SNR) promedio es de 26.3 dB.

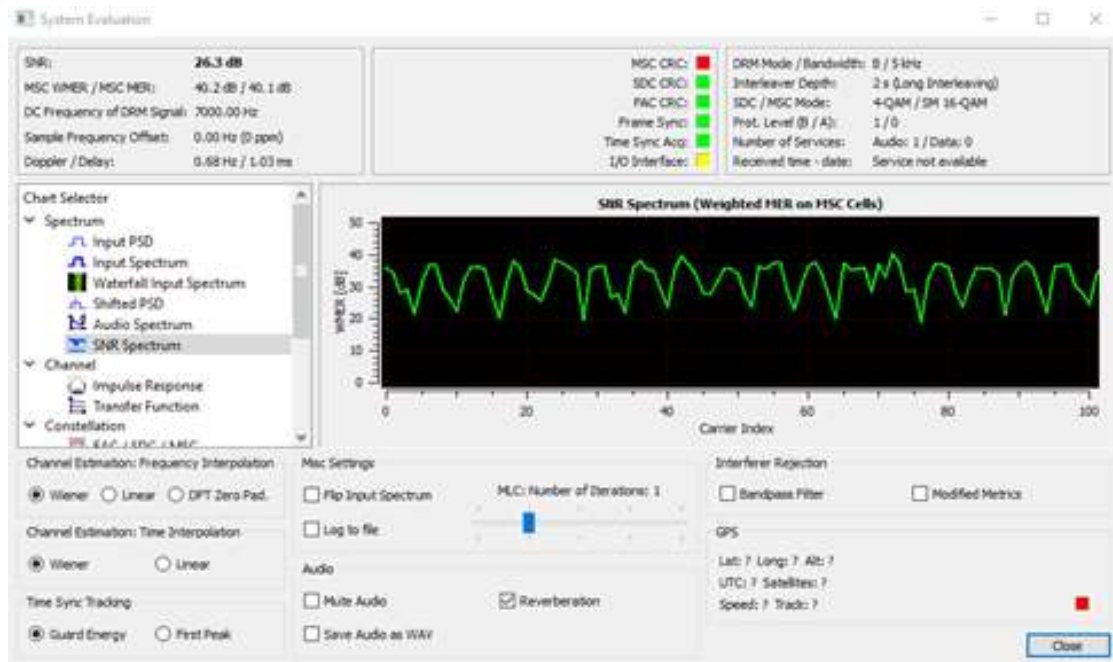


Figura 10-4. Pantalla principal SNR Spectrum. Modo B, Ancho de Banda 5kHz

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

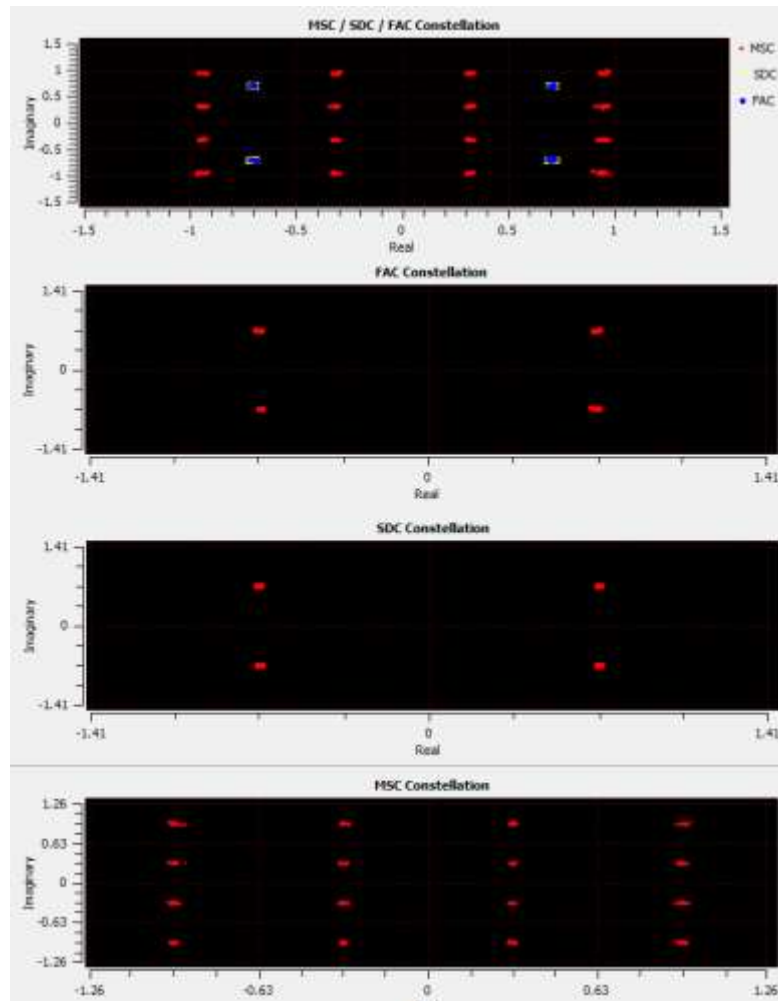


Figura 11-4. Diagrama de constelación de la modulación QAM

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Existe una variación en la frecuencia de transmisión, determinada por la frecuencia doppler de 1.61 Hz, existiendo un retraso de 10.03 ms máximos.

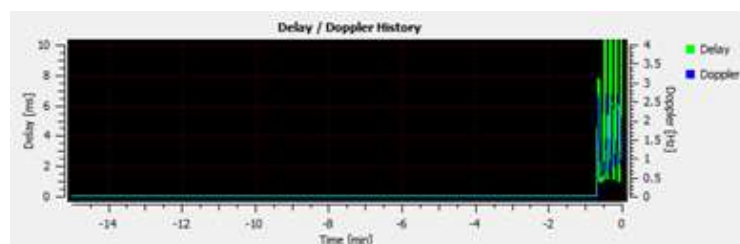


Figura 12-4. Frecuencia doppler y retraso

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

En las siguientes figuras, se puede observar la recepción de la señal en DRM con modo de robustez B, ancho de banda de 10kHz, con una ocupación espectral e 3, una tasa de código de 0.5, y un entrelazado largo.



Figura 13-4. Pantalla principal DREAM. Modo B, Ancho de Banda 10kHz
 Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

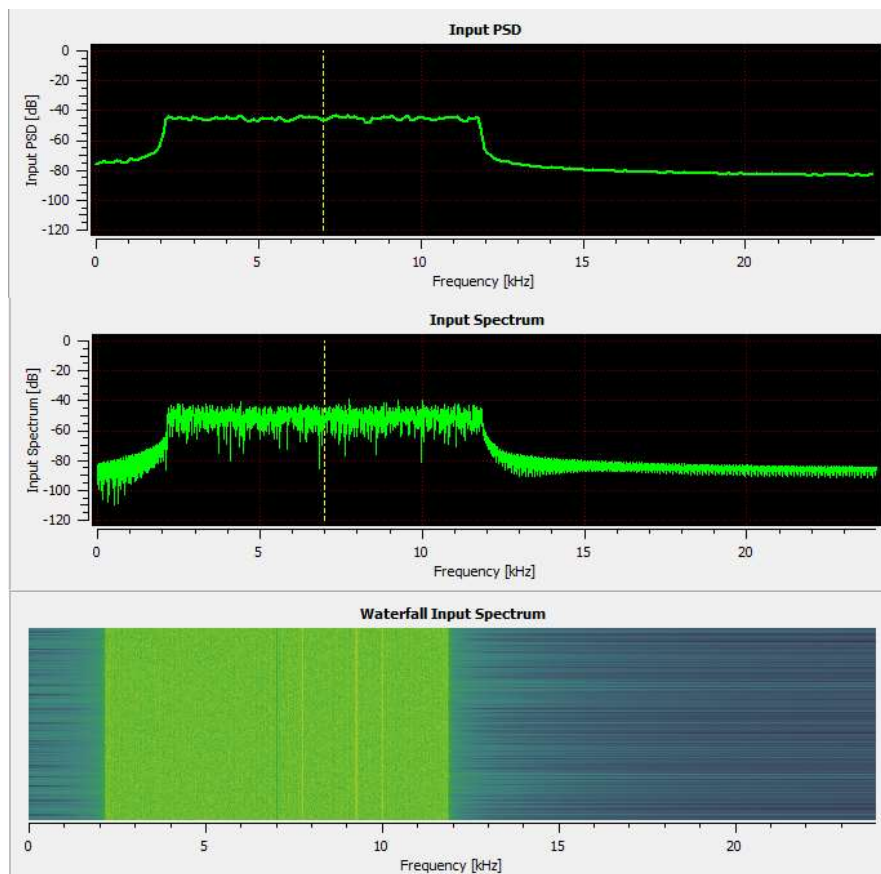


Figura 14-4. Input Spectrum
 Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

El canal MSC esta modulado en 16-QAM. El canal SDC está modulado en 4-QAM. La relación señal a ruido (SNR) promedio es de 23.6 dB.

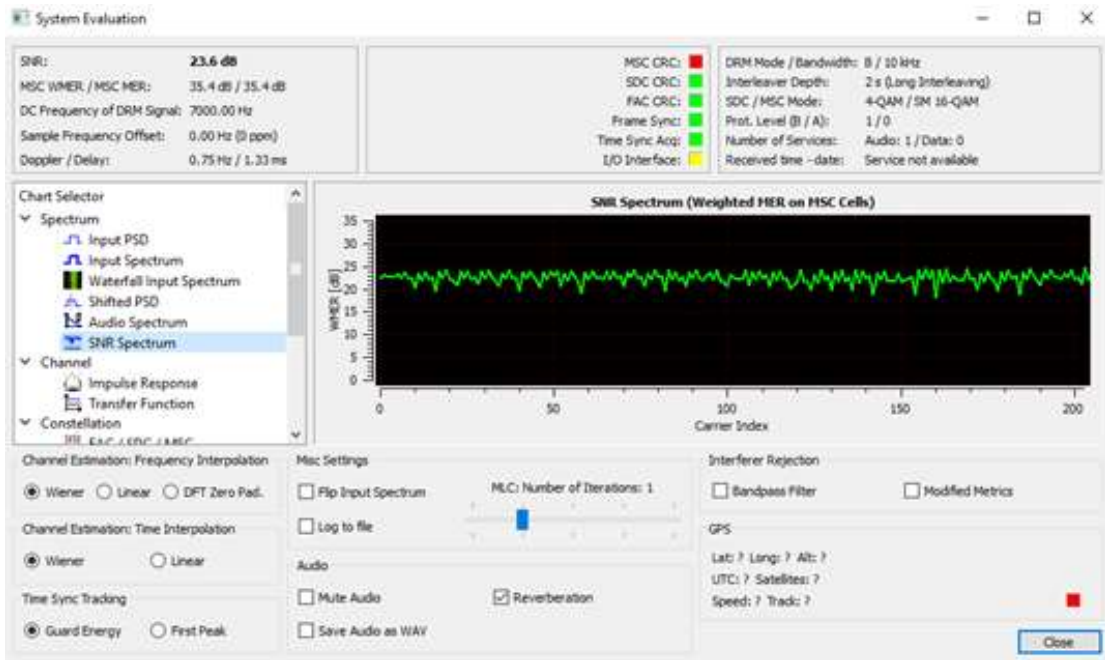


Figura 15-4. Pantalla principal SNR Spectrum. Modo B, Ancho de Banda 10kHz
 Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

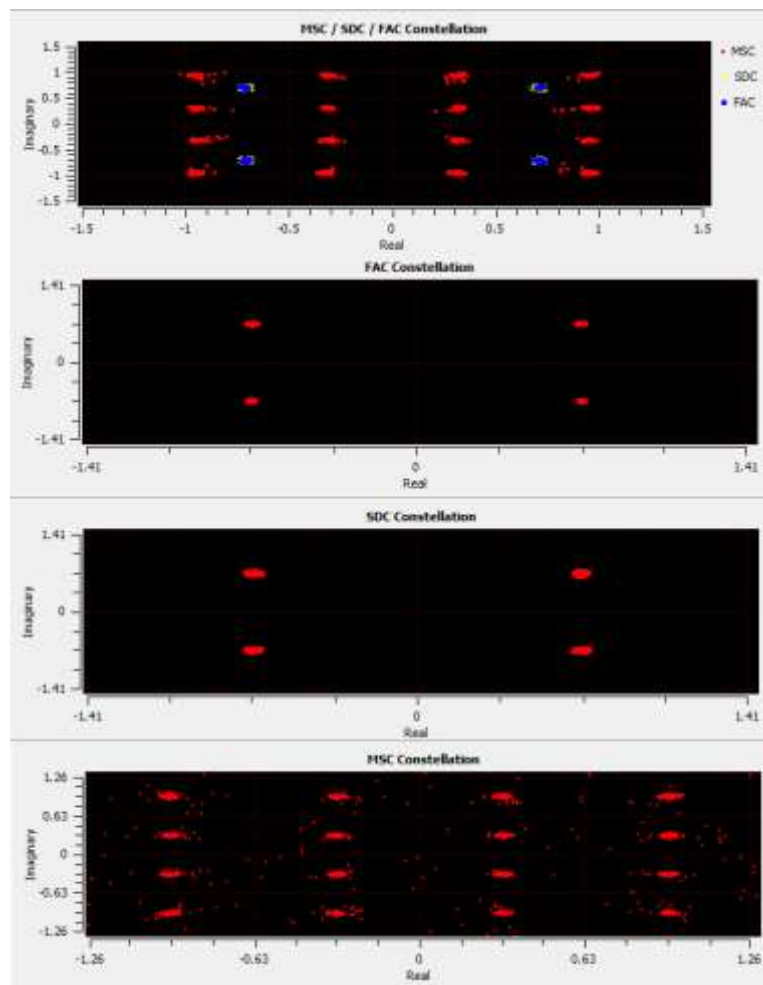


Figura 16-4. Diagrama de constelación de la modulación QAM
 Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Existe una variación en la frecuencia de transmisión, determinada por la frecuencia doppler de 1.95 Hz, existiendo un retraso de 10.56 ms máximos.

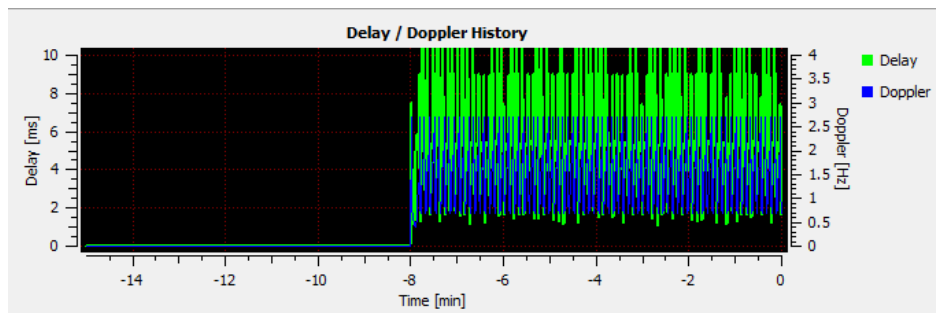


Figura 17-4. Frecuencia doppler y retraso

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

El resumen de los datos obtenidos se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 1-4. Resumen Datos obtenidos por el sistema.

Modo	Ancho de banda (kHz)	MSC	SDC	Velocidad (kbps)	SNR (dB)	Tipo transmisión
A	5	64-QAM	16-QAM	12.74	35.7	Simulado
B	5	16-QAM	4-QAM	6.9	26.3	Simulado
B	10	16-QAM	4-QAM	14.56	23.6	Simulado

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

4.1.1.2. *Evaluación de las señales cargadas desde archivo capturado de una emisión real*

En la siguiente figura se muestra la forma de cargar los archivos de capturas de emisiones reales de señales moduladas en DRM.

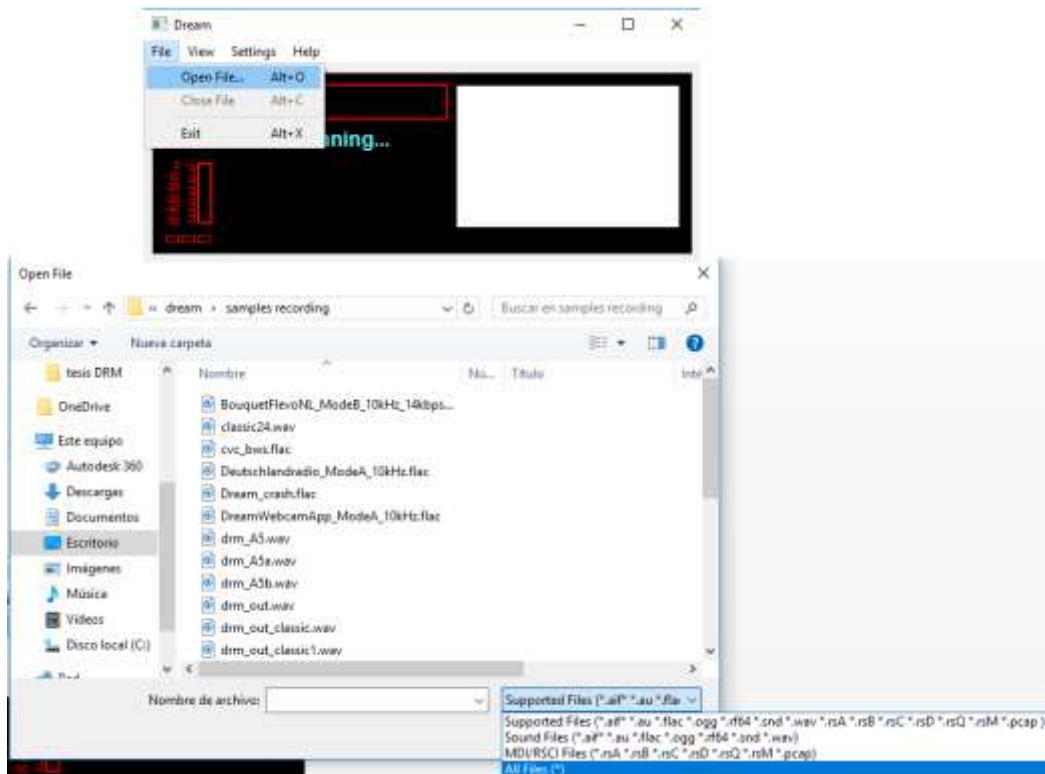


Figura 18-4. Carga de archivos en Dream SDR

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

En las siguientes figuras, se puede observar la recepción de la señal en DRM con modo de robustez A, ancho de banda de 20kHz, con una ocupación espectral e 3, una tasa de código de 0.5, y un entrelazado largo.



Figura 19-4. Pantalla principal DREAM. Modo A, Ancho de Banda 20kHz

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

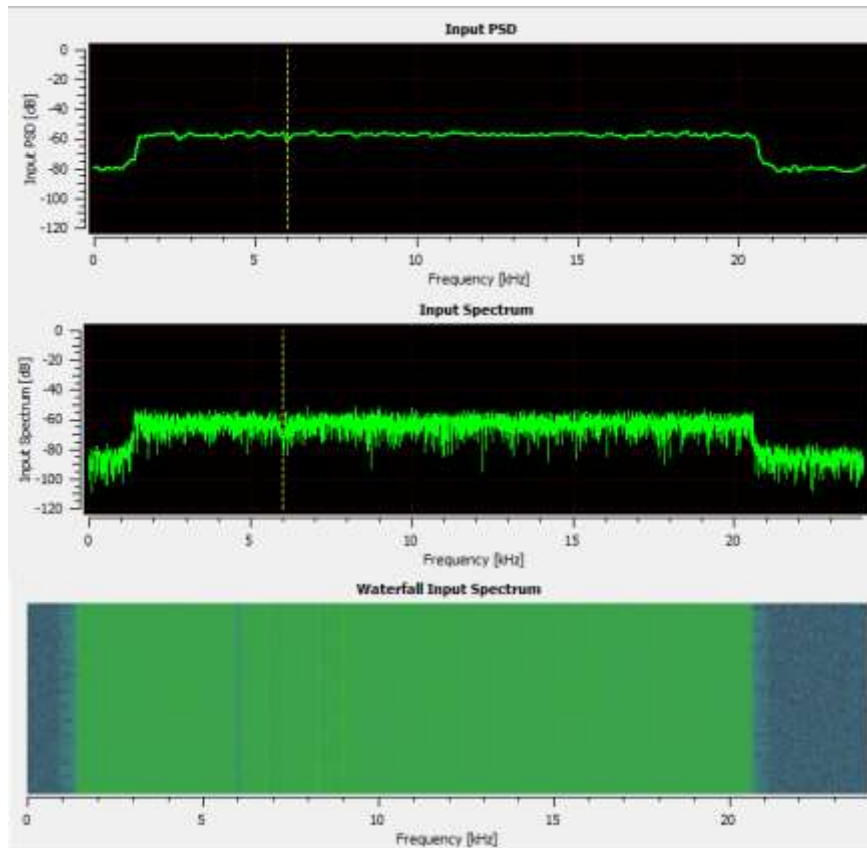


Figura 20-4. Input Spectrum

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

El canal MSC esta modulado en 64-QAM. El canal SDC está modulado en 16-QAM. La relación señal a ruido (SNR) promedio es de 22.7dB.

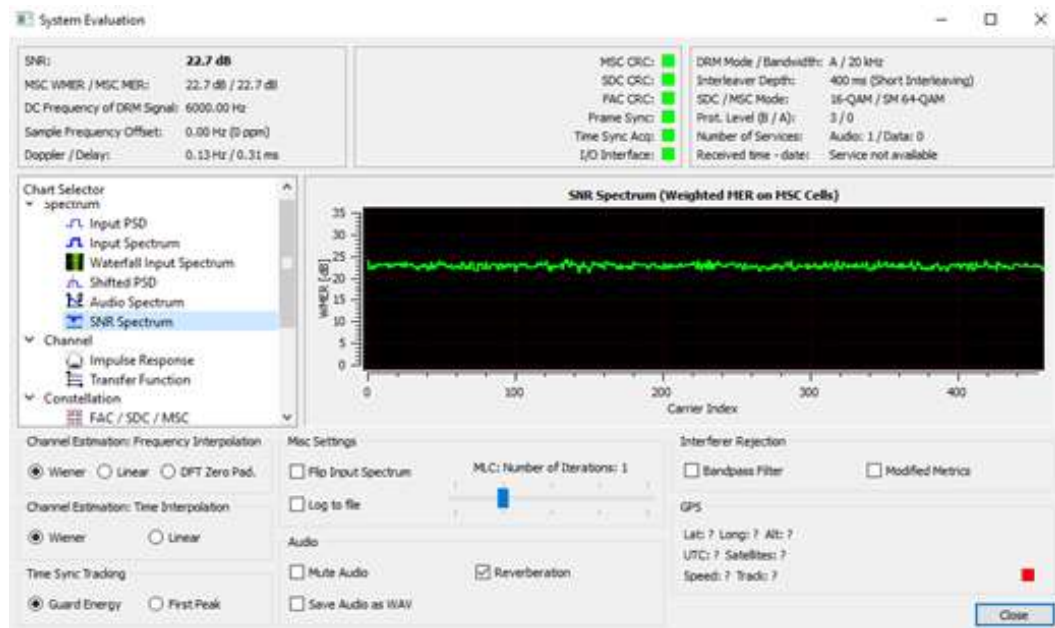


Figura 21-4. Pantalla principal SNR Spectrum. Modo A, Ancho de Banda 20kHz

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

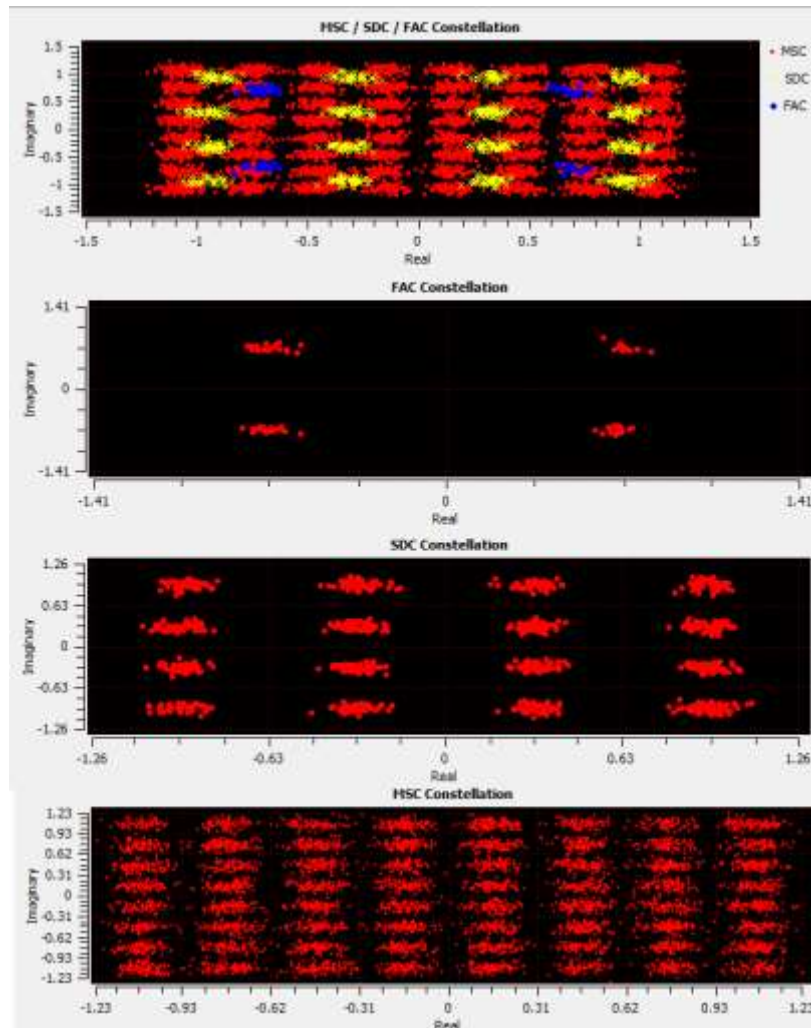


Figura 22-4. Diagrama de constelación de la modulación QAM

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Existe una variación en la frecuencia de transmisión, determinada por la frecuencia doppler de 1.95 Hz, existiendo un retraso de 10.56 ms máximos.

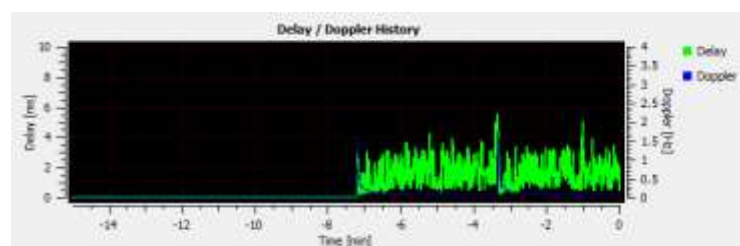


Figura 23-4. Frecuencia doppler y retraso

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

En las siguientes figuras, se puede observar la recepción de la señal en DRM con modo de robustez A, ancho de banda de 10kHz, con una ocupación espectral e 3, una tasa de código de 0.5, y un entrelazado largo.



Figura 24-4. Pantalla principal DREAM. Modo A, Ancho de Banda 10kHz
 Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

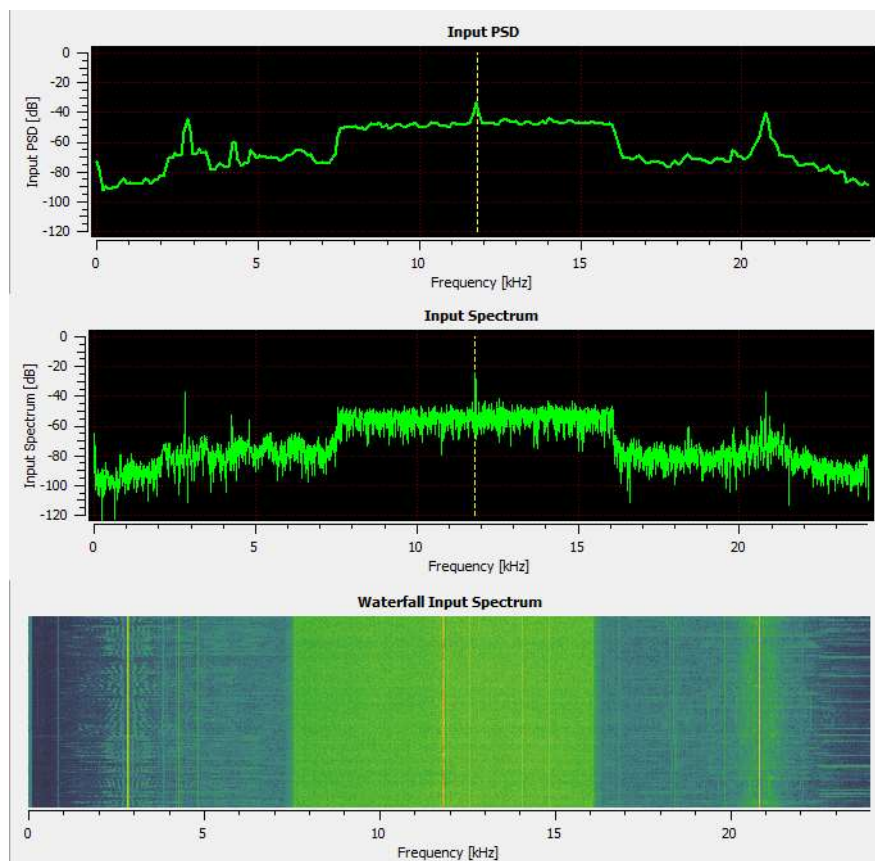


Figura 25-4. Input Spectrum
 Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

El canal MSC esta modulado en 64-QAM. El canal SDC está modulado en 16-QAM. La relación señal a ruido (SNR) promedio es de 17.3dB.

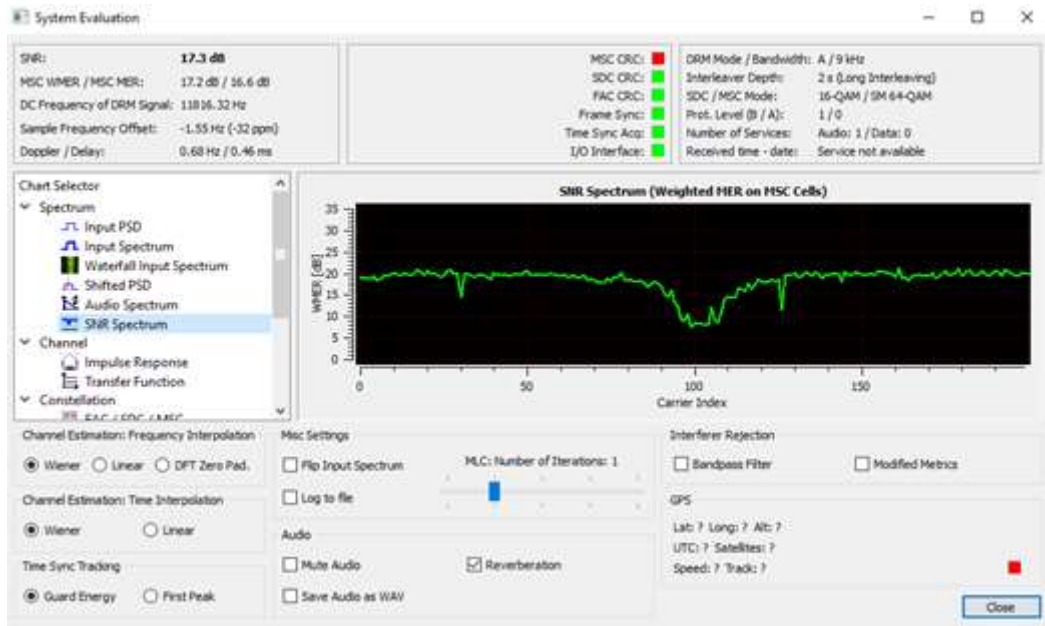


Figura 26-4. Pantalla principal SNR Spectrum. Modo A, Ancho de Banda 10kHz
 Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

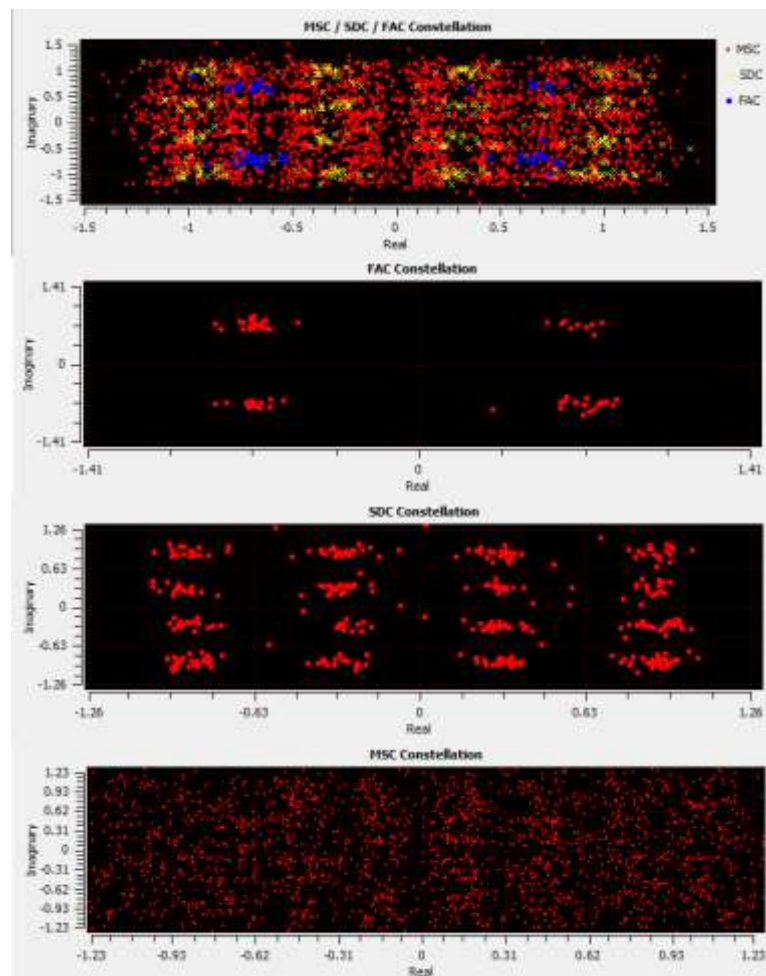


Figura 27-4. Diagrama de constelación de la modulación QAM
 Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Existe una variación en la frecuencia de transmisión, determinada por la frecuencia doppler de 0.80 Hz, existiendo un retraso de 0.58 ms máximos.

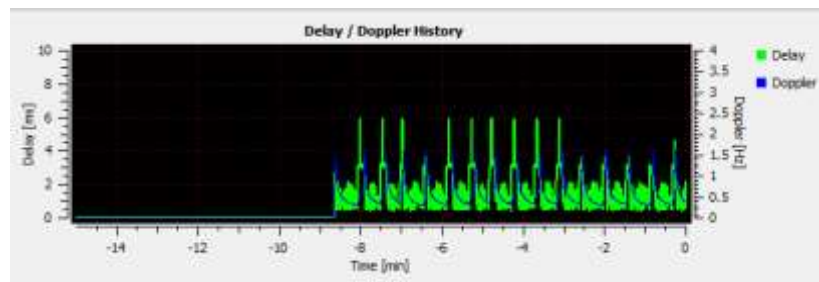


Figura 28-4. Frecuencia doppler y retraso

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

En las siguientes figuras, se puede observar la recepción de la señal en DRM con modo de robustez A, ancho de banda de 10kHz, con una ocupación espectral e 3, una tasa de código de 0.5, y un entrelazado largo.



Figura 29-4. Pantalla principal DREAM. Modo B, Ancho de Banda 10kHz

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

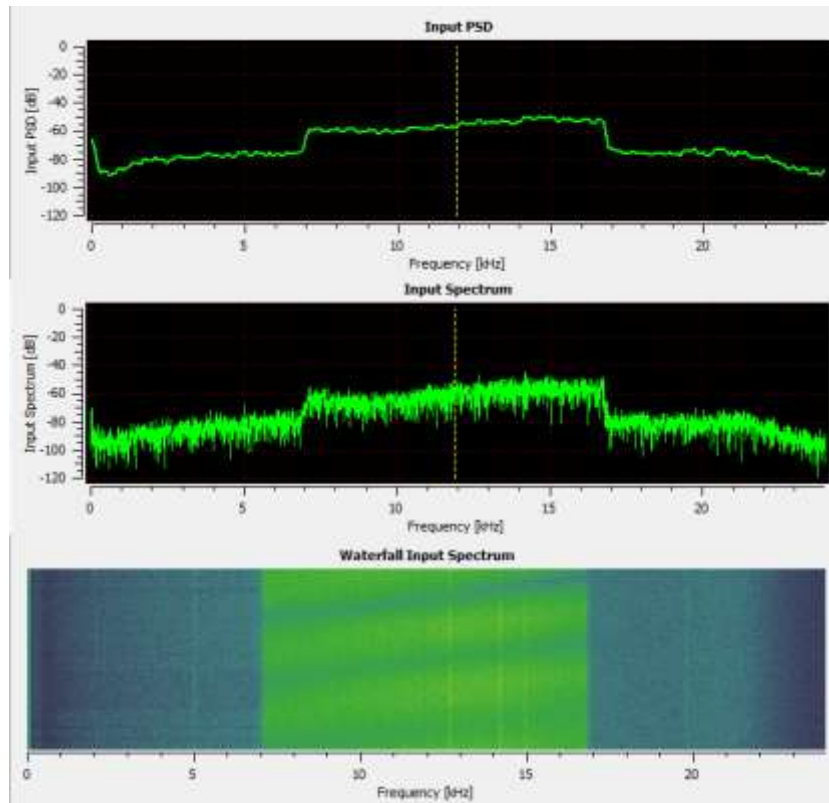


Figura 30-4. Input Spectrum

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

El canal MSC esta modulado en 16-QAM. El canal SDC está modulado en 16-QAM. La relación señal a ruido (SNR) promedio es de 17.7dB.

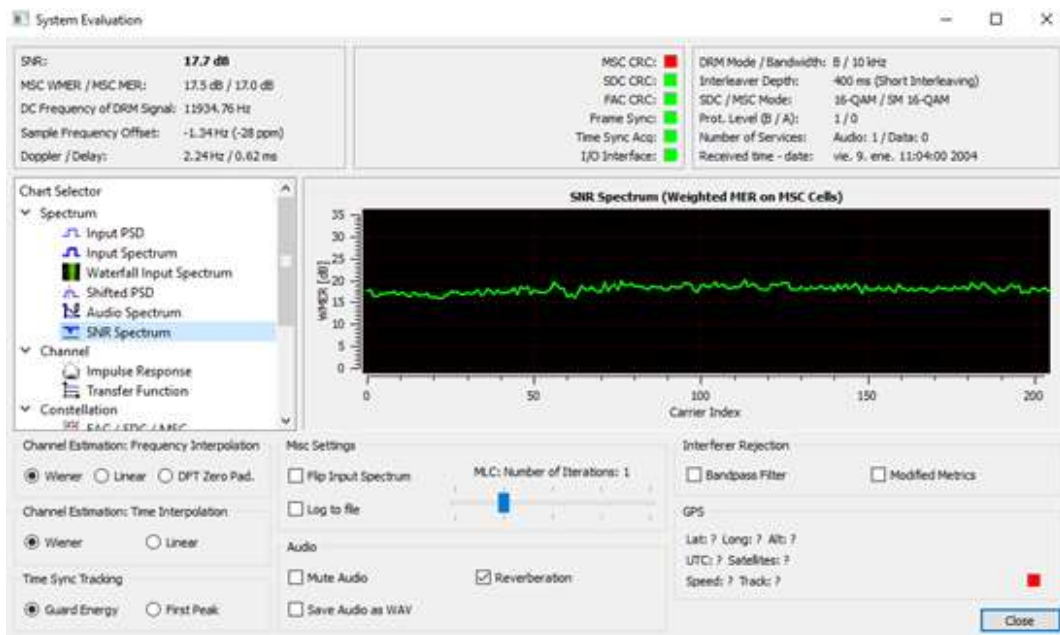


Figura 31-4. Pantalla principal SNR Spectrum. Modo B, Ancho de Banda 10kHz

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

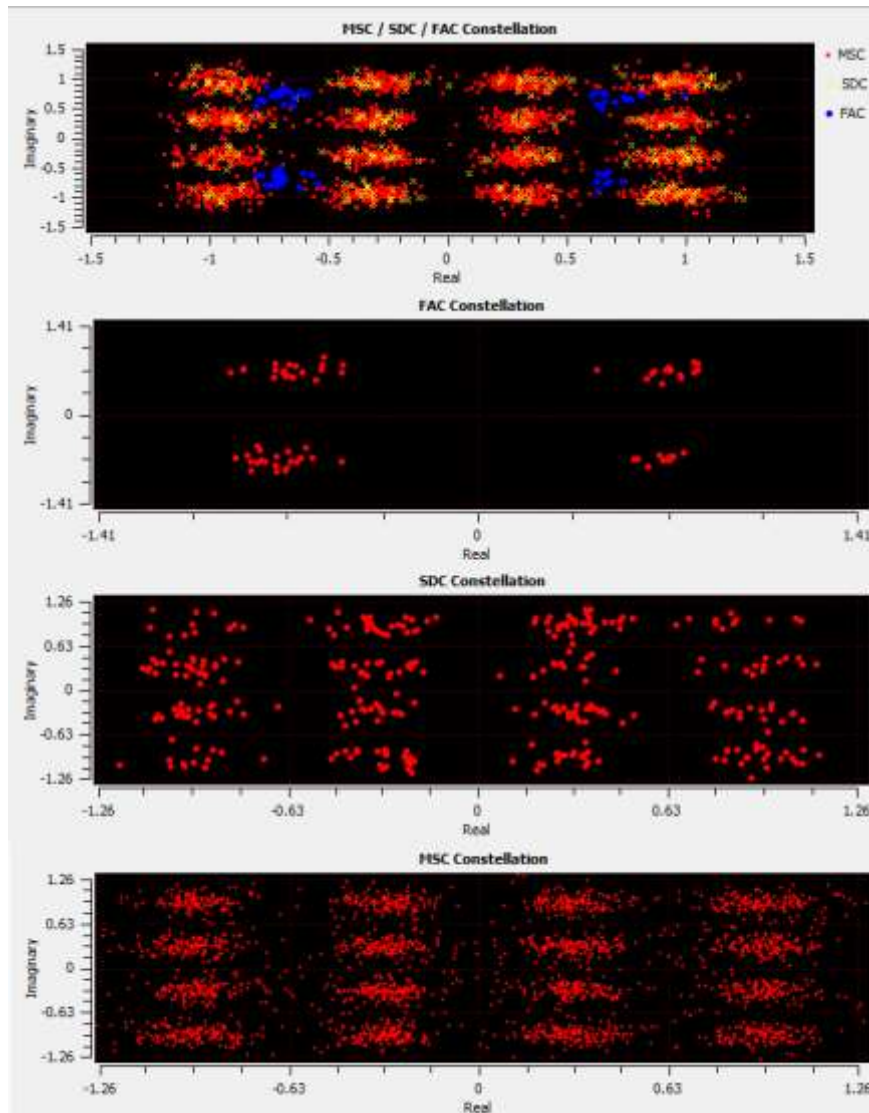


Figura 32-4. Diagrama de constelación de la modulación QAM

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Existe una variación en la frecuencia de transmisión, determinada por la frecuencia doppler de 2.70 Hz, existiendo un retraso de 2.05 ms máximos.

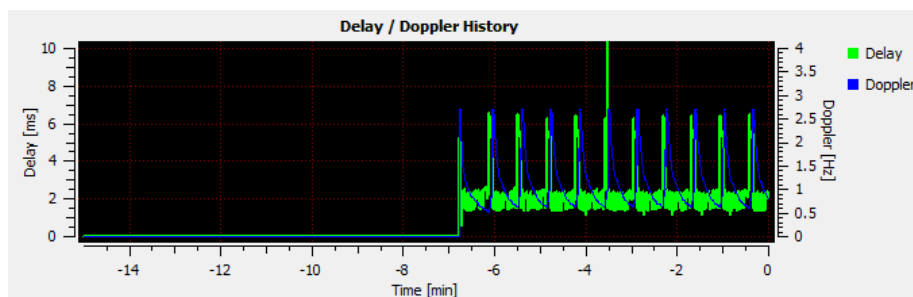


Figura 33-4. Frecuencia doppler y retraso

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

En las siguientes figuras, se puede observar la recepción de la señal en DRM con modo de robustez C, ancho de banda de 10kHz, con una ocupación espectral e 3, una tasa de código de 0.5, y un entrelazado largo.



Figura 34-4. Pantalla principal DREAM. Modo C, Ancho de Banda 10kHz
Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

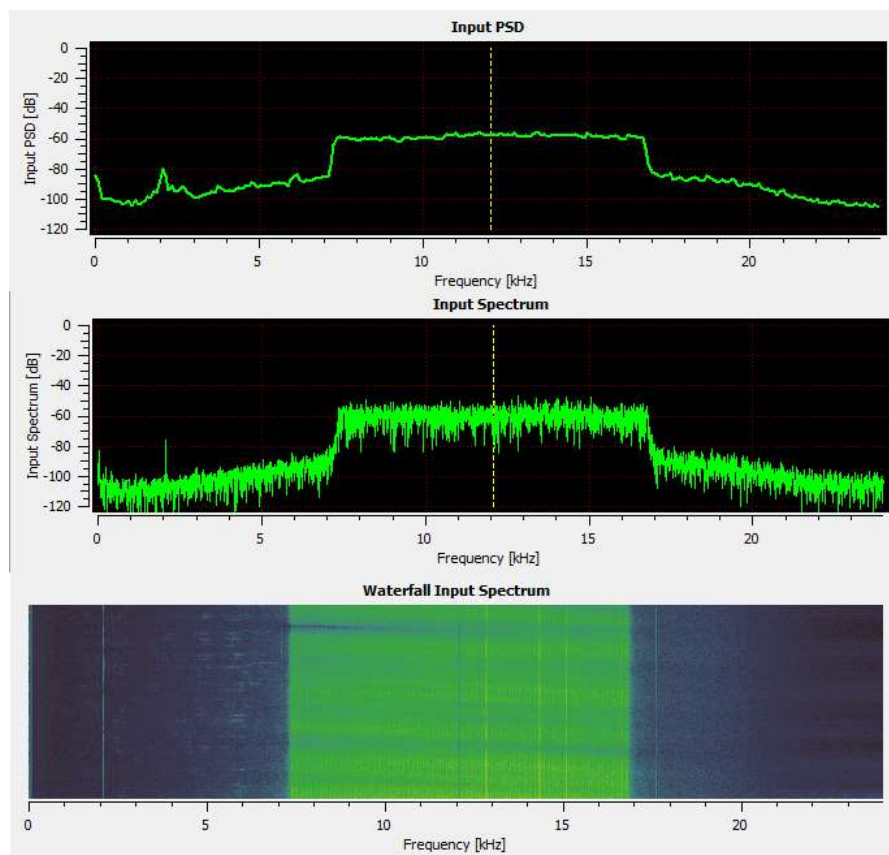


Figura 35-4. Input Spectrum
Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

El canal MSC esta modulado en 16-QAM. El canal SDC está modulado en 16-QAM. La relación señal a ruido (SNR) promedio es de 22.4dB.

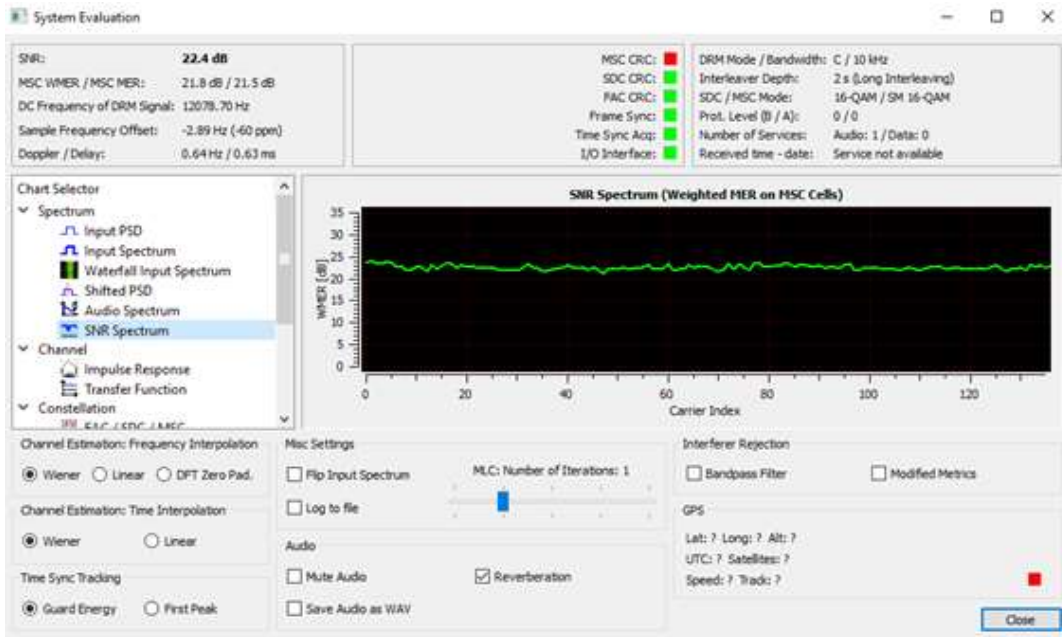


Figura 36-4. Pantalla principal SNR Spectrum. Modo C, Ancho de Banda 10kHz

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

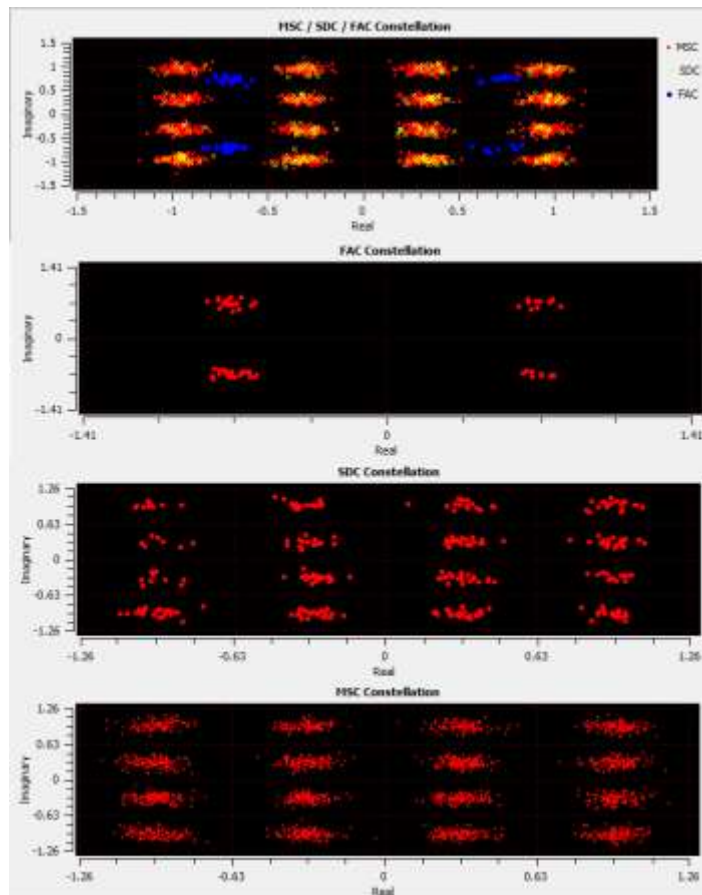


Figura 37-4. Diagrama de constelación de la modulación QAM

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Existe una variación en la frecuencia de transmisión, determinada por la frecuencia doppler de 2.71 Hz, existiendo un retraso de 0.84 ms máximos.

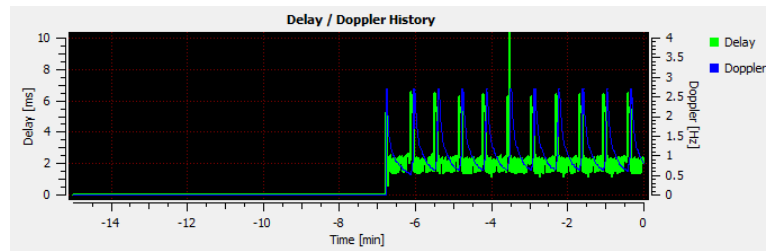


Figura 38-4. Frecuencia doppler y retraso

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

El resumen de los datos obtenidos se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 2-4. Resumen Datos obtenidos por el sistema.

Modo	Ancho de banda (kHz)	MSC	SDC	Velocidad (kbps)	SNR (dB)	Tipo transmisión
A	20	64-QAM	16-QAM	71.96	22.7	Real
A	10	64-QAM	16-QAM	23.62	17.3	Real
B	10	16-QAM	16-QAM	14.56	17.7	Real
C	10	16-QAM	16-QAM	9.18	22.4	Real

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

4.1.1.3. Evaluación de las características de las señales generadas por el sistema

El modo A es más probable que se utilice en onda media y larga utilizando la propagación de la onda de tierra para emisiones locales donde las condiciones de propagación son buenas. Se puede usar en onda corta con trayectoria estable y para transmisiones locales en 26 MHz (recepción a través de onda de tierra).

El modo B es el modo más común para las transmisiones de onda corta de un solo salto y la mayoría de las emisiones en Europa tienden a usar este modo. Las transmisiones nocturnas o internacionales de onda media (a través de la onda ionosférica) pueden usar el Modo B en lugar del Modo A.

El Modo C para transmisiones multi-hop de larga trayectoria en onda corta. Por ejemplo, las transmisiones directas de Nueva Zelanda o Australia se transmiten a Europa.

El Modo D es el más robusto y se podría usar para las transmisiones Near Vertical Incidence Skywave (NVIS) donde la señal de radio se transmite hacia arriba y la ionosfera refleja la señal hacia abajo. Este modo es poco utilizado para la radiodifusión en Europa, pero los radioaficionados del Reino Unido tienen permitido transmitir en la banda de 5 MHz para evaluar si NVIS podría utilizarse para la cobertura nacional. NVIS es común en las bandas de ondas cortas tropicales ya que proporciona una cobertura de área considerable con un solo transmisor ubicado en el centro del área de transmisión.

Tabla 3-4. Modos de transmisión

modo	Propagación	Velocidad de datos	Protección de error
A	menor desvanecimiento	Mas alto	Más bajo
B	como 'A' más desvanecimiento selectivo	Mediano	Baja
C	como 'B' más desvanecimiento severo	Baja	Mediano
D	como 'C' más desplazamiento Doppler severo	Más bajo	Mas alto

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Las velocidades de bit disponibles para el Modo A y el Modo B usando AAC y SBR, proporcionan un ancho de banda de audio de 15.2 kHz (cerca de la radio FM) en el receptor DRM. Con la compresión AAC solo se requiere de 9 o 10 kHz de espectro de radio para lograr transmitir esta información.

Solo a velocidades de bits más altas disponibles en el Modo A y Modo B se puede asemejar a una transmisión en FM; para lograrlo la relación de protección debe mantenerse baja para que la señal recibida sea menos susceptible a la interferencia o al desvanecimiento.

Tabla 4-4. Velocidades de transmisión estimadas

Protección Level	Transmisión en canal de 9Khz		Transmisión en canal de 10Khz	
	Mode A 64-QAM	Mode A 16-QAM	Mode B 16-QAM	Mode B 64-QAM
0	19.6 kbps	15.2 kbps	17.4 kbps	11.6 kbps
1	23.5 kbps	18.3 kbps	20.9 kbps	14.5 kbps
2	27.8 kbps	21.6 kbps	24.7 kbps	---
3	30.8 kbps	24.0 kbps	27.4kbps	---

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Solo se usa en onda corta y demuestra la compensación entre hacer que la señal sea robusta contra las señales de desvanecimiento y multitrayectoria y la capacidad real de transporte de datos.

Los tres modos de robustez configurados tuvieron una variación pequeña referente a cada parámetro de velocidad de transmisión y relación de señal a ruido. Con una ocupación espectral e 3, una tasa de código de 0.5, un entrelazado largo, y una modulación en MSC de 64-QAM y en SDC de 16-QAM, un ancho de banda de 10kHz se obtuvo (23.62 kbps y 17.3 dB en Modo A), (17.12 kbps y 21.50 dB en Modo B), (10.08 kbps y 14.05 dB en Modo C), se puede observar en base a los resultados que las características de funcionamiento de cada modo de robustez para un determinado canal de transmisión varían los valores de la velocidad de transmisión y la relación señal a ruido, ofreciendo el modo B una mejor protección de la señal con respecto al ruido, mientras que el modo A ofrece mayor velocidad de transmisión.

El resumen de los datos obtenidos se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 5-4. Resumen Datos obtenidos por el sistema.

Modo	Ancho de banda (kHz)	MSC	SDC	Velocidad (kbps)	SNR (dB)	Tipo transmisión
A	5	64-QAM	16-QAM	12.74	35.7	Simulado
A	5	16-QAM	4-QAM	8,84	68	Simulado
A	10	64-QAM	16-QAM	23.62	17.3	Real
A	10	16-QAM	16-QAM	18,44	71,8	Simulado
A	10	16-QAM	4-QAM	18,44	46,3	Simulado
A	20	64-QAM	16-QAM	71.96	22.7	Real
B	5	16-QAM	4-QAM	6.9	26.3	Simulado
B	5	64-QAM	16-QAM	9,92	40,8	Simulado
B	10	64-QAM	16-QAM	17.12	21.5	Real
B	10	16-QAM	16-QAM	14.56	17.7	Real
B	10	16-QAM	4-QAM	14.56	23.6	Simulado
B	20	64-QAM	16-QAM	42,9	34,3	Simulado
C	10	16-QAM	4-QAM	11,48	35	Simulado
C	10	16-QAM	16-QAM	9,18	22,4	Real
C	20	64-QAM	16-QAM	10,08	14,05	Real

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Como resume del análisis del comportamiento de la señal frente a las distintas características de los medios de robustez y los parámetros iniciales del transmisor se adjunta la **Gráfico 1-4** y la **Gráfico 2-4-4** en que se observa el comportamiento de la velocidad de transmisión y la relación de señal a ruido (SNR) de los tres modos de robustez.

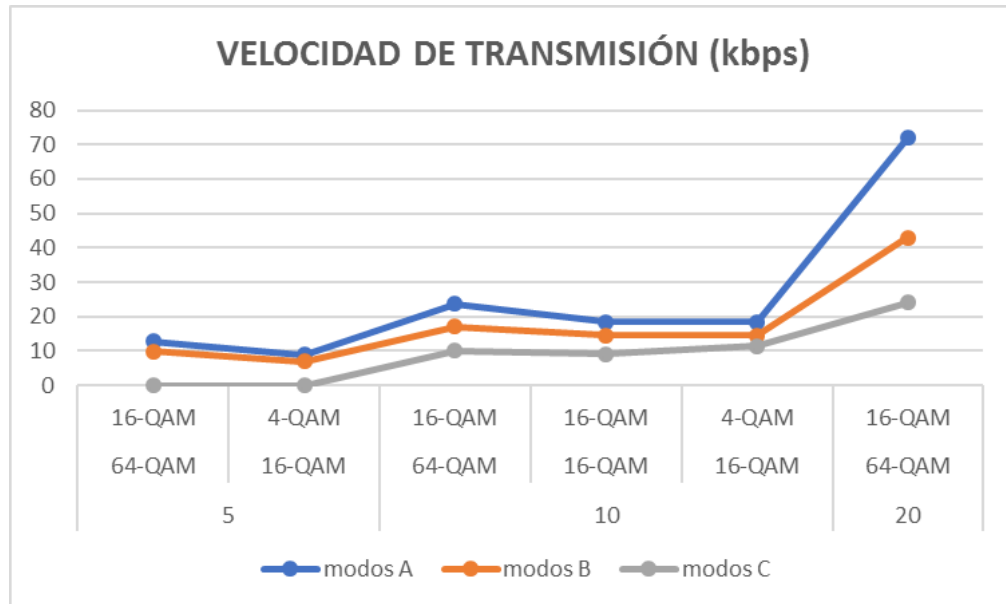


Gráfico 1-4. Velocidad de transmisión de los tres modos de robustez.

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

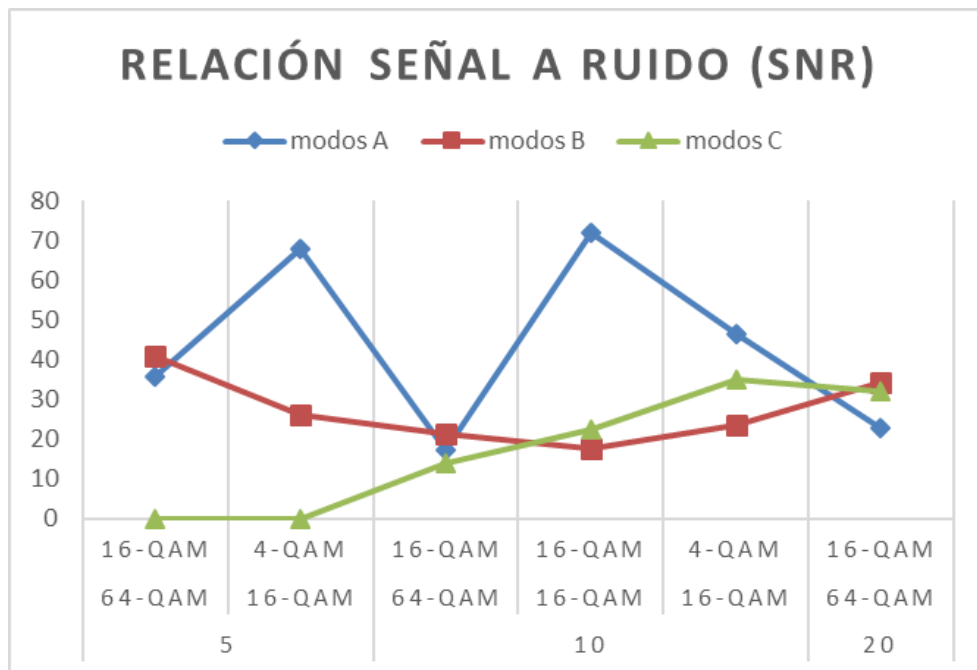


Gráfico 2-4. Relación de señal a ruido de los tres modos de robustez.

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

El comportamiento de la velocidad de transmisión y la relación de señal a ruido son muy similares en los tres modos de robustez, las cuales varían dependiendo el ancho de banda y la modulación QAM escogida. Sin embargo, en una transmisión con un ancho de banda de 20kHz la velocidad de transmisión se dispara en picos muy altos como se aprecia gráficamente tiene un porcentaje más alto de diferencia de los otros dos.

El valor de la relación de señal a ruido obtiene un valor alto en un ancho de banda de 5kHz con una modulación de 16-QAM (MSC) y 4-QAM (SDC), y con un ancho de banda de 10kHz con una modulación de 16-QAM (MSC) y 16-QAM (SDC). Se podría concluir que es el mejor modo de robustez para la transmisión de señales es el modo de robustez A. La modulación QAM con mayor estabilidad en el sistema es en el canal MSC de 16-QAM y en el canal SDC de 4-QAM, dando mejores resultados para la transmisión de la señal.

4.2. Análisis para determinar la calidad del audio codificado

La compresión de audio está basada en la premisa psicoacústica de que hay un "efecto de enmascaramiento de audio" donde el oído no puede escuchar ciertas frecuencias dentro de una banda crítica cuando hay una señal de audio más alta cerca. Esta banda crítica se hace más amplia a medida que la frecuencia aumenta.

DRM utiliza la compresión de audio MPEG-4 HE-AAC v2 (aacPlus TM Coding Technologies). Esencialmente aacPlus es dos códecs de audio perceptuales. El estándar DRM utiliza el formato AAC para compresión y codificación de audio el cual consta de dos modos: AAC y xHE-AAC. Estos modos se combinan con las herramientas SBR²⁵ y PS²⁶ con el objetivo de obtener una compresión de mayor calidad.

SBR es una técnica que aumenta el ancho de banda de la señal de audio recibida a partir de una combinación de la señal AAC de ancho de banda inferior (muestreada a 24 kHz) y datos SBR que reconstruyen la frecuencia de audio más alta. SBR usa una frecuencia de muestreo de 48 kHz.

²⁵ SBR: Spectral Band Replication

²⁶ PS: Parametric Stereo

Al codificar música, las frecuencias fundamentales suelen ser inferiores a 6-8 kHz (dependiendo de la fuente de audio). Estas frecuencias más bajas se codifican utilizando AAC. Frecuencias por encima de esto generalmente contienen principalmente sonido armónico. Aunque estas frecuencias son necesarias para reconstruir el sonido, el oído es menos sensible a estas frecuencias más altas. Por lo tanto, es necesario transmitir menos datos SBR en comparación con el códec AAC.

La calidad del sonido real está determinada por la tasa de bits asignada al servicio de audio. Esto a su vez está determinado por el modo DRM, nivel QAM, nivel de protección de error (tasa de código) y ancho de banda del espectro utilizado para la transmisión (ancho de banda de espectro mínimo es de 4.5 kHz hasta un máximo de 20 kHz para DRM30 y 96 kHz para el modo DRM+).

4.3. Comprobación De La Hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis se utilizó la prueba estadística χ^2 y así determinar si la distribución generada χ^2 demuestra que la hipótesis nula es cierta o falsa. Se aplica la prueba χ^2 de Pearson de independencia.

Para realizar este contraste se disponen los datos en una tabla de frecuencias. Para cada valor o intervalo de valores se indica la frecuencia absoluta observada o empírica (O_i). A continuación, y suponiendo que la hipótesis nula es cierta, se calculan para cada valor o intervalo de valores la frecuencia absoluta que cabría esperar o frecuencia esperada ($E_i = n \cdot p_i$, donde n es el tamaño de la muestra y p_i la probabilidad del i -ésimo valor o intervalo de valores según la hipótesis nula). El estadístico de prueba se basa en las diferencias entre la O_i y E_i y se define como:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Ecuación 1-4

Si existe concordancia perfecta entre las frecuencias observadas y las esperadas el estadístico tomará un valor igual a 0; por el contrario, si existe una gran discrepancia entre estas frecuencias el estadístico tomará un valor grande y, en consecuencia, se rechazará

la hipótesis nula. Así pues, la región crítica estará situada en el extremo superior de la distribución Chi-cuadrado con $k-1$ grados de libertad.

4.3.1. *Demostración de la hipótesis*

Hipótesis inicial: El estudio y análisis de la calidad de servicio en la transmisión de AM Digital con el uso de códecs en USRP, determinará la fidelidad en la recepción de señales digitales.

En la **Tabla 6-4** se observa un resumen de las variables obtenidas en los experimentos realizados, que sirven para comprar con los datos esperados de la **Tabla 7-4**.

Tabla 6-4. Resumen Datos obtenidos por el sistema.

Modo	MSC	Velocidad (kbps)	SNR (dB)
A	64-QAM	71.96	22.7
A	64-QAM	23.62	17.3
A	64-QAM	12.74	35.7
B	64-QAM	17.12	21.5
B	16-QAM	14.56	17.7
B	16-QAM	6.9	26.3
B	16-QAM	14.56	23.6
C	16-QAM	9.18	22.4

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Tabla 7-4. Variables de los Datos Esperados

Modo	MSC	Velocidad	SNR
A	64-QAM	30.8 kbps	40.0 Db
A	64-QAM	30.8 kbps	40.0 Db
A	64-QAM	30.8 kbps	40.0 Db
B	64-QAM	27.4 kbps	30.0 Db
B	16-QAM	20.0 kbps	30.0 Db
B	16-QAM	20.0 kbps	30.0 Db
B	16-QAM	20.0 kbps	30.0 Db
C	16-QAM	12.0 kbps	20.0 Db

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Hipótesis X^2

Hipótesis nula. Ho: Los modos B y C son los más óptimos para obtener una mejor fidelidad en la recepción de señales digitales en AM Digital.

Hipótesis alternativa. H1: El modo A es el más óptimo para obtener una mejor fidelidad en la recepción de señales digitales en AM Digital.

Estadístico de Prueba:

Tabla 8-4. Estadístico prueba

Frecuencias observadas				
Modo	MSC	Velocidad (kbps)	SNR (dB)	Total
A	64-QAM	71.96	22.7	94.66
A	64-QAM	23.62	17.3	40.92
A	64-QAM	12.74	35.7	48.44
B	64-QAM	17.12	21.5	38.62
B	16-QAM	14.56	17.7	32.26
B	16-QAM	6.9	26.3	33.2
B	16-QAM	14.56	23.6	38.16
C	16-QAM	9.18	22.4	31.58
Total		170.64	187.2	357.84

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Tabla 9-4. Estadístico prueba

Frecuencias esperadas				
Modo	MSC	Velocidad (kbps)	SNR (dB)	Total
A	64-QAM	45.1396781	49.5203219	94.66
A	64-QAM	19.513159	21.406841	40.92
A	64-QAM	23.0991549	25.3408451	48.44
B	64-QAM	18.4163783	20.2036217	38.62
B	16-QAM	15.3835412	16.8764588	32.26
B	16-QAM	15.8317907	17.3682093	33.2
B	16-QAM	18.1970221	19.9629779	38.16
C	16-QAM	15.0592757	16.5207243	31.58
Total		170.64	187.2	357.84

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

$$X^2 = 56.66$$

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Grados de libertad: $(F-1) * (C-1) = (8-1) * (2-1) = 7$



Gráfico 3-4. Distribución X^2

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Tabla 10-4. Comprobación de Hipótesis

	R	8
	k	2
Grados de Libertad	$(r-1)(k-1)$	7
Nivel de significación	α	0,05
X^2_{Tabla}	X2	14.07
X^2_{Prueba}		56.66

Realizado por: (PÉREZ, Juan J., 2018)

El valor obtenido es superior al estimado por la prueba X^2 . Se demuestra que la hipótesis nula planteada es errónea. Por ende, la hipótesis alterna es la correcta: El modo A es el más óptimo para obtener una mejor fidelidad en la recepción de señales digitales en AM Digital.

CONCLUSIONES

Se ha diseñado e implementado un sistema de transmisión de AM digital a través del estándar DRM para determinar la calidad de servicios de la emisión de las señales en diferentes condiciones del medio, con lo cual se determinó la fidelidad en la recepción de señales digitales.

Se ha determinado que los valores de la velocidad de transmisión y la relación de señal a ruido varían según el modo de robustez, el ancho de banda y la modulación QAM utilizada.

Usando el códec AAC, se requiere un ancho de banda de 5kHz para realizar una transmisión estable de la señal comparada con la emitida por una estación FM analógica. Los modos de robustez se determinaron para ciertas características del medio, siendo el modo A, el más fiable, con una alta velocidad de transmisión y relación de señal a ruido, lo cual determina que se puede utilizar el estándar DRM para transmisiones en media y baja frecuencia.

El sistema DRM emplea las mejores tecnologías de compresión de sonido ya que usa los algoritmos de audio y voz del MPEG-4 que brinda excelente calidad de sonido a bajas tasas de bit como la codificación AAC, las codificaciones de voz CELP y HVXC, complementada con Replicación de Banda Espectral SBR como su codificación digital principal. La SBR mejora la calidad de audio percibida y también puede emplear la codificación Estéreo Paramétrica para las señales estéreo.

El trabajo más eficiente del sistema se realizó con los parámetros configurados con el modo A de robustez, la ocupación del espectro en 3, un ancho de banda de 10kHz, una tasa de código de 0.5, un entrelazado largo y una modulación para el canal MSC de 16-QAM y para el canal SDC de 4-QAM.

La calidad total de recepción y fidelidad de servicio de recepción portátil y móvil serán similares a la actuación en receptores fijos. El sistema cubre los efectos del multi-camino y las características de cambios de propagación presentes en transmisiones de onda larga, media y onda corta.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar pruebas de campo con transmisiones en DRM, para realizar una futura implementación del estándar en el país.

Se recomienda profundizar en la codificación de audio xHE-AAC y MPEG-2 para las transmisiones de señales digitales.

Se recomienda realizar un estudio de la modulación COFDM, y la utilización de códigos convolucionales para las transmisiones de señales digitales.

Los códigos utilizados para la investigación se pueden utilizar para realizar modificaciones del estándar DRM y comprender como funciona en un ambiente controlado.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

AM: Amplitud Modulada

FM: Frecuencia Modulada

DRM: Digital Radio Mondiale, www.drm.org

DSR: Digital Satellite Radio

BPSK: Transmisión por desplazamiento de fase binaria

SFN: Redes de Frecuencia Única o en sus siglas en inglés, Single Frequency Network

AAC: Advanced Audio Coding

SBR: Spectral Band Replication

PS: Parametric Stereo

BER: tasa de error de bit

UEP: Protección de error desigual

SBR: replicación de la banda espectral

CRC: Chequeo por Redundancia Cíclica.

MSC: Main Service Channel - canal de servicio principal

FAC: Fast Access Channel - canal de acceso rápido

SDC: Service Description Channel - canal de descripción de servicio

SDC: Señalización del canal o Service Description Channel

UTF-8: 8-bit Unicode Transformation Format

AFS: Alternative Frequency checking and Switching

DISTANCIA HAMMING: diferencia entre una palabra válida de código y otra

FEC: Forward Error Correction

BER: Bit Error Rate

SNR: Relación Señal a Ruido

SDR: Radio Definido Por Software

CODFM: Coded Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

SO: Spectre Occupancy, Ocupación Espectral

SM: Estándar Mapping, Mapeo Estandar

MSC: Main Service Channel

FAC: Fast Access Channel

SDC: Service Description Channel

AAC: Advanced Audio Coding

SBR: Spectral Band Replication

PS: Parametric Stereo

PRBS: Pseudo Random Bit Sequence

AFS: Conmutación de frecuencia alternativa

USRP: Universal Software Radio Peripheral.

SDR: Software Defined Radio

BIBLIOGRAFÍA

- [1] **ADVANTEST CORPORATION, (2013).** *DSP-Based Testing - Fundamentals 50 PRBS (Pseudo Random Binary Sequence)*, 2013. Disponible en: <https://www.advantest.com/documents/11348/3e95df23-22f5-441e-8598-f1d99c2382cb>
- [2] **AMBADAR, A. (2002).** *Procesamiento de señales analógicas y digitales*. México D. F.: Thomson Editores S. A. 2002.
- [3] **BATEMAN, A. (2003).** *Digital Communication*, Nueva York: Addison-Wesley. 2003.
- [4] **BUTLER, J.; PIETROSEMOLI, E.; ZENARO, M. (2013).** *Redes inalámbricas en los países en desarrollo (cuarta ed.)*, Copenhague, Dinamarca: Creative Commons Attribution - ShareAlike 3.0. 2013. Disponible en: <http://wndw.net/pdf/wndw3-es/wndw3-es-ebook.pdf>
- [5] **CARDENAS, A. E. J. (2005).** *Multiplicación por División de Frecuencia Ortogonal Codificada (COFDM)*. Chile: Universidad Austral. 2005.
- [6] **COUCH, L. (2008).** *Sistemas de Comunicación Digitales y analógicos*, México: Prentice Hall.
- [7] **DAOUND, O.; AL-QAWASMI, A. (2009).** *Efficient Performance of COFDM-Based DVB-T*. Philadelphia: Department of Communication and Electronics Engineering. 2009
- [8] **DIETZ, M.; MLASKO, T. (2000).** *Using MPEG-4 audio for DRM Digital Narrowband Broadcasting*. Geneva, Switzerland, Switzerland. IEEE. 2000 Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/856032>
- [9] **ETTUS RESEARCH, (2010)** Board Mounted GPSDO (OCXO) Recommended for USRP X300/X310. [En línea]. Estados Unidos: Ettus Research, 2010. [Consulta: 01 de mayo de 2016]. Disponible en: <https://www.ettus.com/product/details/GPSDO-MINI>.
- [10] **ETTUS RESEARCH, (2010).** *USRP N210 (Board Only)*. [En línea]. Estados Unidos: Ettus Research, 2014. [Consulta: 28 de mayo de 2016]. Disponible en: <https://www.ettus.com/product/details/UN210-KIT>.
- [11] **EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE (ETSI). (2014).** *System Specification Digital Radio Mondiale (DRM)*, 2014. Disponible en: <http://www.drm.org/wp-content/uploads/2012/10/DRM-System-Specification.pdf>
- [12] **GIL PEÑAFIEL, P.; SANTILLÁN SACOTO, F. (2015).** *Implementación de las Etapas de Codificación, Mapeo y Mapeo Inverso QAM de un Transmisor de Radio Digital Según el Estándar DRM30*. [En línea] (Tesis Pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. 2015. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23099/1/tesis.pdf>.
- [13] **GONZÁLES, J. M. V. (2008).** *Simulación de un Esquema de Modulación/Demodulación OFDM Utilizando un Modelo de Canal Multitrayectoria*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral. 2008.

- [14] **GNURADIO, (2017)** *Main Page*. [En línea] 2017. [Consulta: 20 de abril de 2017]. Disponible en: https://wiki.gnuradio.org/index.php/Main_Page.
- [15] **HERNANDO, RÁBANOS J. M. (2006)**. *Transmisión por Radio (quinta ed.)*. Editorial Universitaria Ramón Areces. 2006.
- [16] **HERNANDO, RÁBANOS J. M. (2015)**. *Comunicaciones Móviles (tercera ed.)*. Editorial Universitaria Ramón Areces. 2015.
- [17] **HERRANZ, CUADRADO M. V. (2007)**. *Estudio y construcción de códigos convolucionales. Códigos perforados, códigos concatenados desde el punto de vista de sistemas*. Elche, España: Universidad Miguel Hernández. 2007. Disponible en: <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/1722/1/Tesis%20Herranz%20Cuadrado.pdf>
- [18] **ISO/IEC FDIS 14496-3 sec5. (1999)**. *Information Technology-Coding of Audio-Visual Objects- Part3: Audio*. International Standard: ISO/IEC, 20014. 1999. Disponible en: <http://sound.media.mit.edu/resources/mpeg4/SA-FDIS.pdf>
- [19] **ISO/IEC 13818-7, (2004)**. *Information Technology - Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information - Part 7: Advanced Audio Coding (AAC)*. International Standard: ISO/IEC. 2006. Disponible en: <http://read.pudn.com/downloads126/ebook/535161/13818-7.pdf>
- [20] **JARA, T. (2014)**. *Propuesta para la migración analógico-digital de la Radiodifusora "Radio Tricolor" 97.7 FM matriz de la ciudad de Riobamba en base al estándar DRM (Digital Radio Mondiale)* [en línea] (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2014. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8862/3/CD-5937.pdf>
- [21] **LARA, A. (2013)**. *Estudio de factibilidad de implementación del estándar drm como una herramienta para una futura puesta en operación de esta tecnología en la ciudad de Riobamba* [en línea] (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2013. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2928/1/98T00037.pdf>
- [22] **LATHI, (1993)**. *Introducción a la Teoría y Sistemas de Comunicación*. México: Limusa. 1993.
- [23] **LAWREY, E. (2001)**. *The Suitability of OFDM as A Modulation Technique for Wireless Telecommunications, with a CDMA comparison (segunda ed.)*. James Cook University. 2001.
- [24] **LINDNER, D.K. (1999)**. *Introduction to Signals and Systems*. Singapur. WBC/McGraw-Hill International Editions. 1999.
- [25] **MOLINA A., MORA B. (2013)**. *Análisis Técnico Socio-Económico para la migración de Radiodifusión Analógica a Radiodifusión Digital para la banda AM en Quito, utilizando el estándar DRM* [en línea] (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2013. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6761/1/CD-5141.pdf>

- [26] **PRIETO, G.; GUERRA, D; MATIAS, J.; VELEZ, M.; ARRINDA, A. (2008).** *Digital-Radio-Mondiale (DRM) Measurement-System Design and Measurement Methodology for Fixed and Mobile Reception.* Dubrovnik, Croatia, 2008. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4413162/>
- [27] **PUENTE VILLALVA, M. F. (2005).** *Estudio de la Factibilidad para la Implementación del Servicio de Radiodifusión Digital DRM en el Ecuador* [en línea] (Tesis Pregrado). Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador. 2005. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/2477/T-ESPE-027548.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [28] **QUIROZ TERREROS, J. F. (2010).** *Emulador de un Sistema de Comunicaciones utilizando tecnología SDR.* Quito, Ecuador: ESPE. 2010.
- [29] **RADIO AMÉRICA LATINA, (2015).** *Directorio y base de datos gratuito de radios en FM y AM en América Latina.* [En línea] [Consulta: 30 de enero de 2017]. Disponible en: <http://www.radio-america-latina.org/>
- [30] **RAMIREZ, R. (2015).** *Sistemas de radiocomunicaciones.* Madrid, España: Ediciones Paraninfo, S.A. 20015
- [31] **SALINAS, M. A. (2011).** *Comparación De Tecnologías De Radio Digital Para Su Aplicación En México* [en línea] (Tesis Pregrado). Universidad Autónoma de México, México. Octubre 2011. Disponible en: <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/161>
- [32] **SAMUELI, H.; WONG, B. (1990).** *A VLSI Architecture for a High-Speed All-Digital Quadrature Modulator and Demodulator for Digital Radio Applications.* IEEE Journal. 1990
- [33] **SÁNCHEZ F., SAGBAY G. (2013).** *Estudios y análisis de la Estandarización y regulación para la migración del sistema de radio analógico a la digital en el Ecuador* [en línea] (Tesis Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. 2013. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5253/1/UPS-CT002755.pdf>
- [34] **SANCHEZ, C. S. Códigos Convolutivos.** Disponible en: <https://es.scribd.com/document/233615804/Codigos-Convolutivos-Carlos-Sanchez>
- [35] **STREMLER, F. G. (1990).** *Introducción a los Sistemas de Comunicación*, Tercera ed., Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1990.
- [36] **TENORIO, I., (2012).** *La Nueva Radio: Manual Completo del Radiofonista 2.0 (segunda ed.).* Marcombo. 2012.
- [37] **TOMASI, (2003).** *Sistemas de comunicaciones electrónicas (4ta edición ed.).* México: Pearson Educación. 2003.
- [38] **VARGAS, L. (2013).** *Diseño de una radiodifusora digital en base al estándar DRM (Digital Radio Mondiale) para la banda AM* [en línea] (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2013. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6883/1/CD-5171.pdf>

- [39] V. Medios, "SlideShare," 25 Enero 2005. [Online]. Available: <http://es.slideshare.net/Abasota/introduccion-al-sistema-drm>. [Accessed 10 octubre 2017]
- [40] YUAN, N. (2003). *An Equalization Technique for High Rate OFDM Systems*. Canadá. University of Saskatchewan. 2003. Disponible en: <https://www.collectionscanada.gc.ca/obj/s4/f2/dsk3/SSU/TC-SSU-12022003213031.pdf>

ANEXOS

ANEXO A. ENCUESTA

Esta encuesta va dirigida para la población de las comunidades rurales de Riobamba y Colta con el objetivo de desarrollar el proyecto de investigación desarrollado en el Instituto de Postgrado y Educación Continua de la ESPOCH - Maestría en Telecomunicaciones.

Marca con una X la opción que corresponda.

1. **Escriba el nombre del cantón:**
2. **Escriba el nombre de la parroquia:**
3. **Escriba su edad:**
4. **¿Cuál es su género?**
MASCULINO ()
FEMENINO ()
5. **¿En su hogar disponen de señal de radio?**
SI ()
NO ()
6. **¿Cuántos radios tienen en su hogar?**
Una ()
Dos ()
Más de dos () (especificar cuantas).....
7. **¿Tiene considerado comprar un (otro) radio?**
SI ()
NO ()
8. **¿Con qué frecuencia escuchas la radio?**
Diario ()
Fines de semana ()
De vez en cuando ()
Nunca ()
9. **¿En qué momento del día escuchas la radio?**
Por las mañanas ()
Al mediodía ()
Por las tardes ()
Por las noches ()

De madrugada ()

10. ¿Que frecuencia escucha?

FM ()

AM ()

AMBAS ()

11. ¿Qué le parece la calidad de la señal FM?

Buena ()

Regular ()

Mala ()

12. ¿Qué le parece la calidad de la señal AM?

Buena ()

Regular ()

Mala ()

13. ¿Qué emisoras escucha?

.....
.....
.....

14. ¿En dónde escucha la radio?

En la casa ()

En el carro ()

Otro ()

15. ¿Qué tipo de programa o programas escuchas?

Informativos ()

Culturales ()

Musicales ()

Deportivos ()

Entrevistas ()

Otros () (especificar).....

16. ¿Usted cuenta con un teléfono celular?

SI ()

NO ()

17. ¿El teléfono celular lo utiliza solamente para hacer y recibir llamadas?

SI ()

NO ()

No sabe o no contesta ()

18. ¿Qué otro uso le da a su teléfono celular?

- Escucha música ()
- Escucha radio ()
- Escucha radio APK ()
- Mensajes ()
- Internet ()
- Redes Sociales ()
- Otros () (especificar).....

19. ¿A través de qué medios usted se informa, se entretiene, o escucha programas:

- Radio ()
- Televisión ()
- Celular ()
- Internet ()

20. ¿Si mejorara la señal de la radio, usted escucharía más tiempo?

- SI ()
- NO ()
- Otros () (especificar).....

21. ¿Qué frecuencia escucharía?

- FM ()
- AM ()
- AMBAS ()

22. ¿Le gustaría que la señal de radio en AM, llegara con mejor calidad?

- SI ()
- NO ()
- Otros () (especificar).....

23. A escuchado de la señal digital para radio y televisión

- SI ()
- NO ()

24. ¿Qué le parece la calidad de la señal DRM?

- Buena ()
- Regular ()
- Mala ()

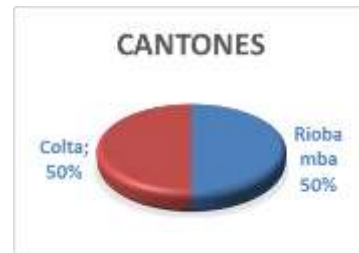
25. ¿Qué programas le gustaría escuchar por AM?

- Informativos ()
- Culturales ()
- Musicales ()
- Deportivos ()
- Entrevistas ()
- Otros () (especificar).....

ANEXO B. ENCUESTA

1. Escriba el nombre del cantón:

Cantón	# Encuestados
Riobamba	169
Colta	169
TOTAL	338



2. Escriba el nombre de la parroquia:

Parroquias encuestadas	# Encuestados
San Juan	20
Lican	22
San Luis	24
Flores	21
Punín	23
Licto	22
Cubijies	37
Columbre	48
Cicalpa	42
Santiago de Quito	41
Juan de Velasco	38
TOTAL	338



Las parroquias rurales de Riobamba y Colta encuestadas se resumen en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Se determina un promedio de 31 encuestados por parroquia.

3. Escriba su edad:

Categoría	Edad
menores a 18	12
entre 18 y 21	30
entre 21 y 24	35
entre 24 y 30	43
entre 30 y 35	42
entre 35 y 40	46
entre 40 y 50	48
entre 50 y 60	52



más de 60	30
TOTAL	338

Los encuestados que sintonizan o sintonizaban radio AM están entre 50 y 60 y más de 60. Los encuestados de las demás categorías sintonizan radio FM u otros medios de comunicación.

4. ¿Cuál es su género?

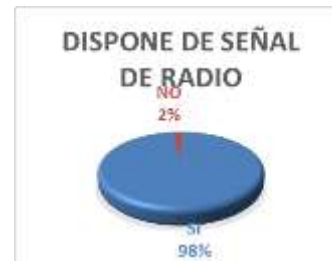
Género	# Encuestados
Masculino	190
Femenino	148
TOTAL	338



La mayoría de encuestados pertenecen al género masculino.

5. ¿En su hogar disponen de señal de radio?

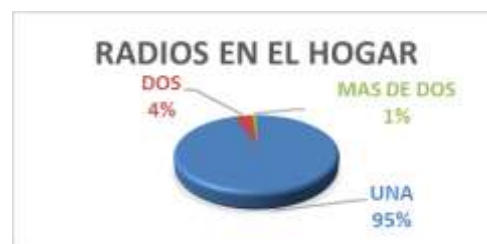
SI	331
NO	7
TOTAL	338



Siete de los encuestados no disponen de señal de radio por ende no se les realizará algunas preguntas de las encuestas. La razón es que la ubicación de sus casas no les permite sintonizar señal de radio debido que allí solo sintonizaban señales en amplitud modulada y al no haber estaciones que transmitan en esta frecuencia ya no hay señal de radio.

6. ¿Cuántos radios tienen en su hogar?

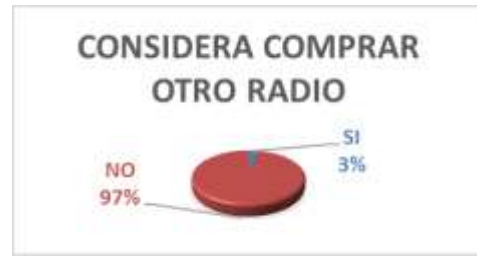
Radios en el hogar	Número
UNA	213
DOS	115
MAS DE DOS	3
TOTAL	331



La mayoría de encuestados dispone al menos una radio en el hogar, esto debido a que disponen de otros equipos de comunicación. Seleccionan dos debido a que disponen de un equipo de sonido, además de una radiograbadora.

7. ¿Tiene considerado comprar un (otro) radio?

SI	11
NO	320
TOTAL	331



Los encuestados no piensan en comprar otro radio, debido a que sintonizan en su mayoría señal FM y utilizan los equipos de sonido para reproducir música.

8. ¿Con qué frecuencia escuchas la radio?

DIARIO	240
FINES DE SEMANA	41
DE VEZ EN CUANDO	50
NUNCA	0
TOTAL	331



Los encuestados sintonizan la radio diariamente, en varias instancias del día. Los que sintonizan los fines de semana y de vez en cuando la realizan para programas de entretenimiento.

9. ¿En qué momento del día escuchas la radio?

POR LAS MAÑANAS	225
AL MEDIODIA	250
POR LAS TARDES	20
POR LAS NOCHES	10
DE MADRUGADA	215
TOTAL	720



Los encuestados sintonizan la radio en varias etapas del día a la vez por tal razón el total es un valor muy superior al de las otras tablas.

10. Que frecuencia escucha

FM	290
AM	13
AMBAS	28
TOTAL	331



En varios sectores rurales todavía sintonizan radios en amplitud modulada. Pero en el último año se cerraron varias estaciones radiodifusoras que emitían su señal en estas frecuencias.

La gran mayoría sintoniza la radio en frecuencia modulada.

11. Que le parece la calidad de la señal FM

BUENA	308
REGULAR	21
MALA	8
TOTAL	331



La señal en frecuencia modulada en ciertos lugares del sector rural es buena, pero en otros lugares la señal no llega debidamente.

12. Que le parece la calidad de la señal AM

BUENA	14
REGULAR	22
MALA	295
TOTAL	331



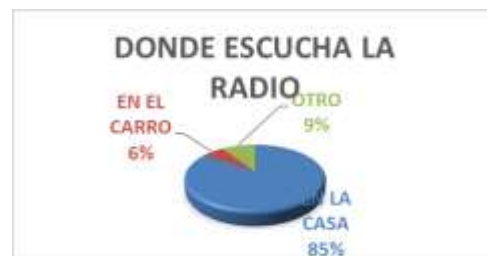
La calidad de las señales en amplitud modulada es mala no se puede sintonizar debidamente en varios sectores donde residen los encuestados.

13. ¿Qué emisoras escucha?

Las radiodifusoras más sintonizadas en los sectores encuestados en amplitud modulada y frecuencia modulada son: ERPE, Buenas Nuevas, Sembrador, la voz de Guamote, Promoción, Colta.

14. ¿En dónde escucha la radio?

EN LA CASA	280
EN EL CARRO	20
OTRO	31
TOTAL	331



Los encuestados sintonizan más la radio en sus hogares, siendo sintonizada también en carro, en el trabajo entre otros.

15. ¿Qué tipo de programa o programas escuchas?

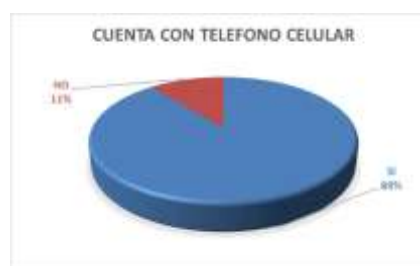
INFORMATIVOS	285
CULTURALES	20
MUSICALES	185
DEPORTIVOS	85
ENTREVISTAS	115
OTROS	20
TOTAL	710



Los programas más sintonizados por los encuestados son los informativos, los musicales y las entrevistas. Seguidos por los deportivos y los culturales. Entre los otros programas sintonizados estaban enfocados a sus inicios de la radio AM que eran de evangelización y de alfabetización.

16. ¿Usted cuenta con un teléfono celular?

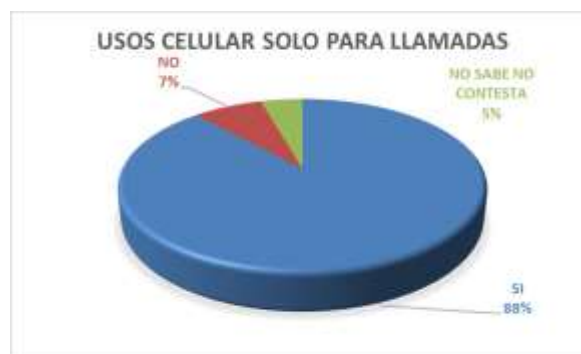
SI	301
NO	37
TOTAL	338



La mayoría de los encuestados cuentan con un teléfono celular.

17. ¿El teléfono celular lo utiliza solamente para hacer y recibir llamadas?

SI	298
NO	25
NO SABE NO CONTESTA	15
TOTAL	338



La principal utilidad de los celulares por parte de los encuestados es para realizar llamadas, debido a que en los sectores rurales solamente se puede sintonizar una operadora telefónica y no da muy buen soporte para conexión de datos.

18. ¿Qué otro uso le da a su teléfono celular?

ESCUCHA MÚSICA	155
ESCUCHA RADIO	45
ESCUCHA RADIO APK	3
MENSAJES	220
INTERNET	142
REDES SOCIALES	105
OTROS	126
TOTAL	796



19. ¿A través de qué medios usted se informa, se entretiene, o escucha programas:

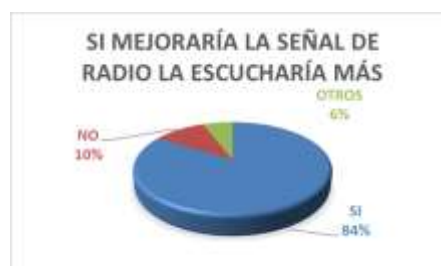
RADIO	287
TELEVISIÓN	224
CELULAR	95
INTERNET	78
TOTAL	684



En los sectores rurales todavía se siguen informando por medio de los medios radiales, debido a que otro tipo de señales no llegan muy bien a todos los lugares.

20. ¿Si mejorara la señal de la radio, usted escucharía más tiempo?

SI	283
NO	35
OTROS	20
TOTAL	338



Si la calidad de la señal de la radio mejora la gran mayoría de los encuestados sintonizaría la radio.

21. ¿Qué frecuencia escucharía?

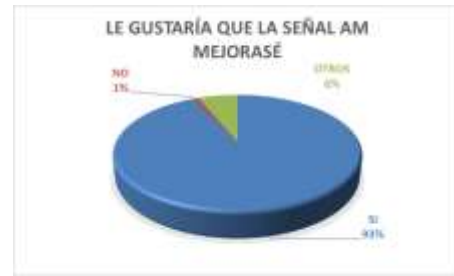
FM	146
AM	10
AMBAS	182
TOTAL	338



Las frecuencias que escucharía serían en ambos diales debido a que en muchos sectores todavía se sintonizaba tanto las señales de AM como de FM.

22. ¿Le gustaría que la señal de radio en AM, llegara con mejor calidad?

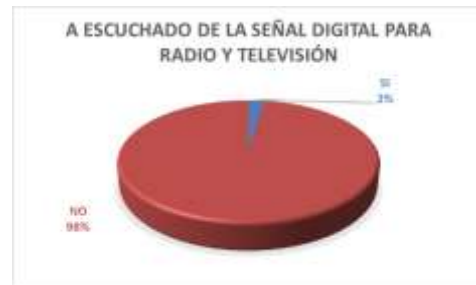
SI	314
NO	3
OTROS	21
TOTAL	338



Si la señal de AM mejoraría la calidad y tenga una mejor fiabilidad permitiría que los encuestados vuelvan a sintonizar la radio.

23. A escuchado de la señal digital para radio y televisión

SI	8
NO	330
TOTAL	338



Los encuestados no han escuchado o no saben de los estándares de transmisión digital. Un porcentaje de los encuestados los ha escuchado, pero solamente son los de televisión digital, siendo en el caso de Ecuador el estándar ISDB-T.

24. Que le parece la calidad de la señal DRM

BUENA	320
REGULAR	10
MALA	8
TOTAL	338



Al reproducirles una muestra de audio de AM, FM y DRM, resaltaron la calidad de la señal que se comparaba a la transmitida en FM.

25. Qué programas le gustaría escuchar por AM

INFORMATIVOS	285
CULTURALES	20
MUSICALES	185
DEPORTIVOS	85
ENTREVISTAS	115
OTROS	20
TOTAL	710



Los programas informativos, musicales y entrevistas son los que más les gustarían a los encuestados.

ANEXO C. SDR Software

GNU Radio

Para el desarrollo de los módulos se necesitan tres tipos de archivos diferentes (.h, .XML, .py) los cuales unificados conforman cada bloque de funcionamiento del sistema.

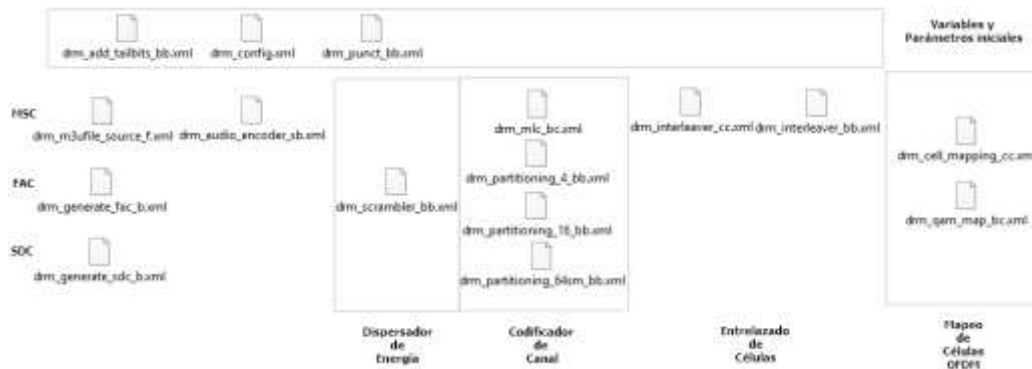
Los archivos .h conforman las clases y objetos que inicializan los parámetros y generan las distintas etapas que conforman la arquitectura del estándar DRM. Estos archivos se localizan en la siguiente ubicación en Ubuntu: /usr/local/include/drm.



Gr-drm includes (.h)

Fuente: (PÉREZ, Juan J., 2018)

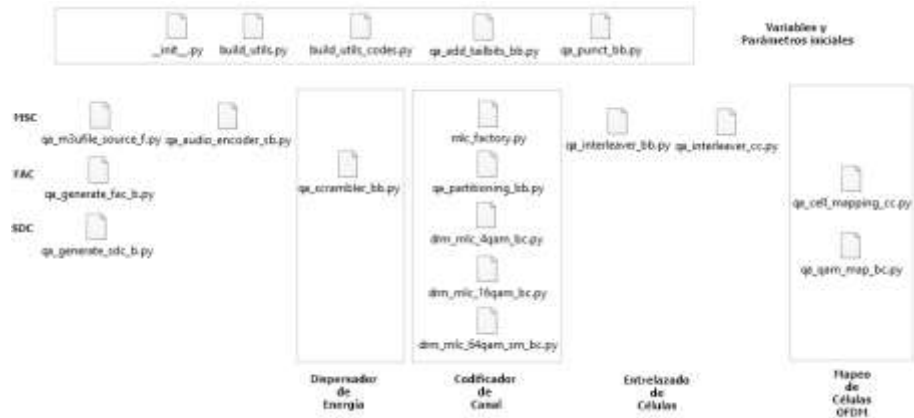
Los archivos .XML generan la parte visual de los módulos de GNU Radio. Estos archivos se localizan en la siguiente ubicación en Ubuntu: /usr/local/src/gr-drm/grc. La lista de módulos grc la componen los siguientes:



Gr-drm grc (.xml)

Fuente: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Asociado a los archivos .xml están los archivos .py, utilizados para asociar la parte gráfica con las clases y objetos de los includes (.h). Estos archivos se localizan en la siguiente ubicación en Ubuntu: /usr/local/src/gr-drm/python. La lista de archivos .py.



Gr-drm python (.py)

Fuente: (PÉREZ, Juan J., 2018)

Al realizar la instalación de los binarios de gr-drm, todos estos archivos se ubican en los directorios antes mencionados, permitiendo que los módulos o bloques relacionados con DRM puedan ser utilizados en GNU Radio, facilitando el manejo y operación del sistema de transmisión. Para añadir nuevas funcionalidades y modificaciones se debe realizarlos en los archivos antes mencionados. Para la recepción y decodificación de señales existen una infinidad de programas, para diversos sistemas de modulación y transmisión.

HSDSDR



HSDSDR Receiver

Receptores probados con el programa HSDSDR

Precio	Modelo/Fabricante	Frecuencia Rango en MHz	Propiedades Importantes
< 10 EUR	RTLSDR (DVB-T/DAB with RTL2832+R820T2).	24-1766	~ 2 MHz Bandwidth, 8 bit For beginners - don't expect wonders!
~ 20 EUR	RTLSDR V3 (DVB-T/DAB with RTL2832+R820T2). RTL-SDR.com	0.5-24, 24-1776	~ 2 MHz Bandwidth, 8 bit For beginners - don't expect wonders!

~ 110 EUR	RSP1A (Radio Spectrum Processor) / SDRplay	0.001-2000	up to 8 MHz Bandwidth, up to 14 bit, Bias-T, 0.5PPM TCXO
~ 175 EUR	RSP2 (Radio Spectrum Processor) / SDRplay	0.001-2000	Similar as RSP1A but with 3 antenna ports
369 EUR	FDM-S1 / ELAD	0.02-30	~ 5 MHz Bandwidth, 14 bit Band pass under sampling up to 200 MHz possible
525 EUR	FDM-S2 / ELAD	0.009-52, 74-108, 135-160	~ 5 MHz Bandwidth, 16 bit very good reception quality

La lista es una selección ordenada por precio. Existen muchos otros receptores recomendables, pero solo están considerados los receptores probados.

Modelo / Fabricante con soporte DLL ExtIO

Modelo / Fabricante	Última Actualización
AFEDRI SDR	
Alinco DJ-X11 + DX-R8	
Airspy	January 08, 2015
Airspy (Alternative ExtIO with more options)	
Bonito RadioJet 1102S	
DiRaWave 0032U	
Fernempfangsradio	
Elad FDM-DUOr	September 12, 2015
Elad FDM-DUO(No HDSDR Transmit capability)	September 12, 2015
Elad FDM-S1	February 26, 2014
Elad FDM-S2	September 12, 2014
Elecraft KX3	September 07, 2013
Elektor	
Expert Electronics ColibriDDC	
Expert Electronics ColibriNANO	
FUNcube Dongle Base/Pro (FCD)	December 27, 2012
FUNcube Dongle Pro+	August 14, 2014
GenesisRadio G59	
Grintek GRX-LAN	January 09, 2013
HackRF One (No Transmit capability)	
Hamlib v1.5 (for many hardware)	August 31, 2011
HPSDR (Atlas, Ozy, Mercury)	January 02, 2013
HPSDR (Hermes)	
Microsat easySDR	
microtelecom PERSEUS	

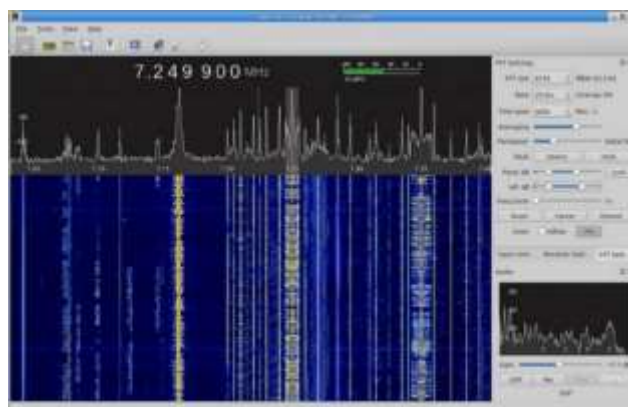
Myriad-RF LimeSDR	
Pappradio	
PM-SDR	
QS1R	
Red Pitaya	
RFHamFox 1 (Transfox)	December 02, 2016
RFSPACE SDR-IQ / SDR-14	April 11, 2013
RTLSDR (DVB-T/DAB with RTL2832) USB	March 20, 2017
RTLSDR (DVB-T/DAB with RTL2832) over Network (rtl_tcp)	
S9-C Rabbit SDR	
SDR-1	April 05, 2012
SDR MK1 / SDR MK1.5 'Andrus'	
SDRplay	
Si570 based (Softrock, FA-SDR, FiFi-SDR, Lima-SDR, PM-SDR)	
Soft66	
Softrock Lite v0.12	January 06, 2013
Signal Hound SA44/SA44B/SA124A/SA124B/BB60A/BB60C	July 11, 2016
USRP, RTLSDR, FUNcube + BorIP network streaming client	
WiNRADiO WR-G305e'	May 06, 2013
WiNRADiO WR-G31DDC 'Excalibur'	
WiNRADiO WR-G33DDC 'Excalibur Pro'	May 21, 2017

Solamente algunos modelos de las marcas soportan DLL externos.

GQRX

Gqrx es software de código abierto para SDR basado en GNU Radio y Qt Graphics Toolkits.

Gqrx usa las librerías gr-osmosdr de GNU Radio como dispositivos de entrada y soporta la siguiente tabla de hardware SDR. Las marcas en paréntesis no han sido probadas por los desarrolladores del programa Gqrx debido a la falta del hardware.



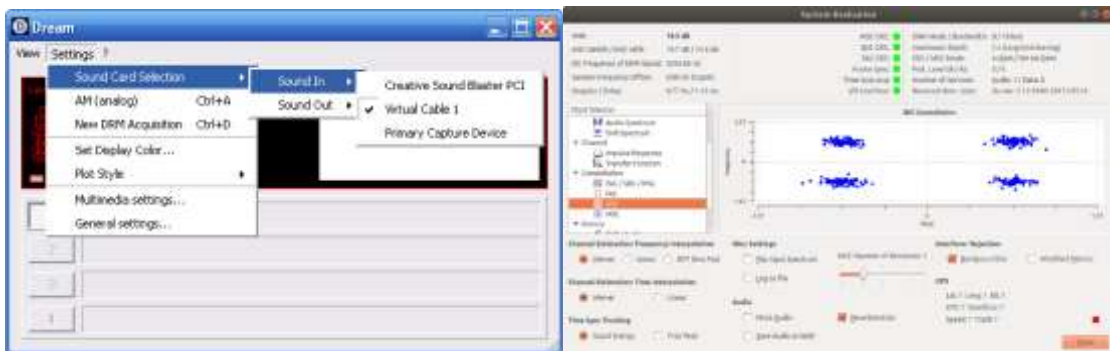
GQRX SDR Receiver

DREAM SDR

Dream AM/DRM Receiver es un software desarrollado por Julián Cable como un receptor de transmisiones de Digital Radio Mondiale (DRM). Con Dream, las transmisiones DRM se pueden recibir con un receptor analógico modificado (SW, MW, LW) y una PC con tarjeta de sonido.



Dream en Windows. a) AM b) DRM c) Evaluación Transmisión



Dream en Linux. a) Adquisición señal b) Evaluación Transmisión

Dream se integra con otros sintonizadores SDR para su funcionamiento. En Windows lo realiza con HSDR a través de un software complementario llamado Virtual Audio Cable y en Ubuntu a través de Gqrx con un software complementario llamado PulseAudio. La funcionalidad es permitir que la señal sintonizada por los SDR se transforme en audio a ser procesado por Dream con lo cual se puede procesar las señales y obtener las características más importantes de las mismas.

Existe una versión de DREAM para dispositivos móviles en este caso para Android²⁷.



DREAM en Android

²⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=fsL2GEORb5I>

ANEXO D. SDR Hardware

Tarjeta USRP

La tarjeta USRP N200 y N210 son la clase de hardware de mayor rendimiento de toda la gama de productos desarrollado por Ettus Research USRP, la cual permite diseñar e implementar rápidamente sistemas flexibles de SDRs. El hardware de la tarjeta es ideal para aplicaciones que requieren un alto rendimiento en radiofrecuencia y de gran ancho de banda. Tales aplicaciones incluyen prototipos de capa física, acceso a espectro dinámico y a radio cognitiva, monitoreo de espectro, grabar y reproducir audio e incluso despliegue de sensores en red.



USRP N210

La serie de tarjetas N de Ettus (The Networked Series) soporta MIMO con gran ancho de banda y rango dinámico. Posee una interfaz Gigabit Ethernet para la transferencia entre la tarjeta y la computadora. Esto permite realizar velocidad de 50 MS/s de ancho de banda de tiempo real para transmisiones y recepciones simultáneas (full dúplex).

La conexión MIMO está ubicada en el panel frontal de cada unidad. Dos tarjetas de las series N pueden ser conectadas para realizar una configuración completa de una red MIMO 2x2 usando un cable opcional para MIMO. Entradas adicionales como el External PPS y entradas de referencia pueden ser usadas para crear sistemas de canales múltiples más grandes. Las versiones N200 y N210 son a la larga lo mismo, excepto que las características de la tarjeta N210 presenta una FPGA más grande para funciones personalizadas de los clientes.

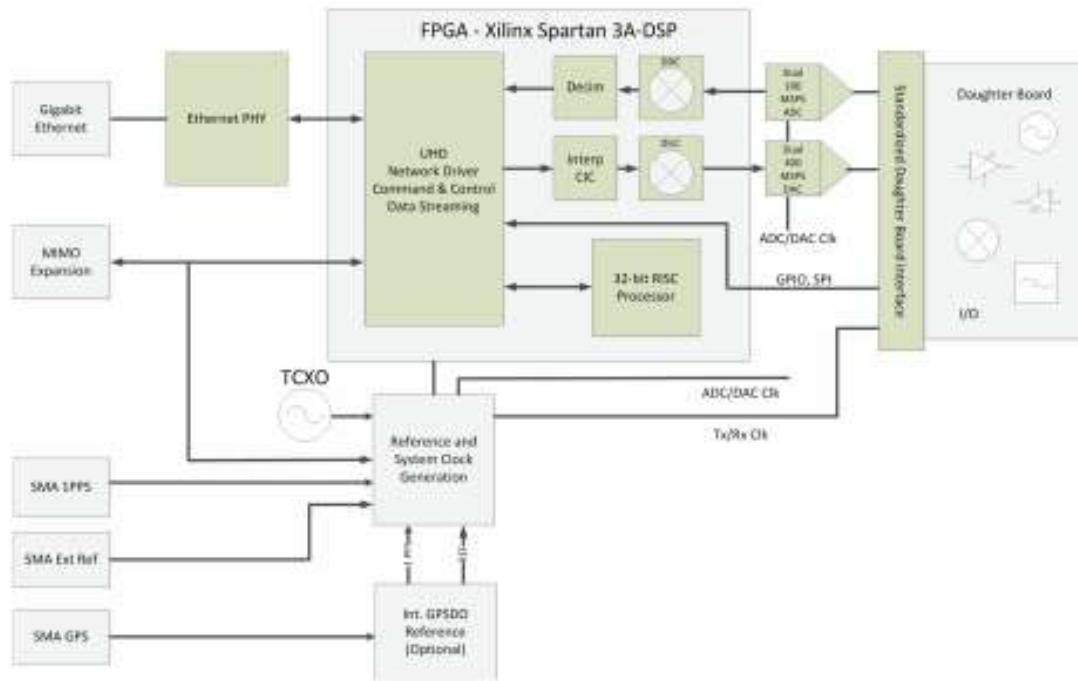
Los drivers para el hardware USRP es el oficial para toda la gama de productos desarrollada por Ettus Research. Los drivers soportan Linux, Mac OSX, Windows.

Especificaciones USRP N200 / N210

ESPECIFICACIONES	VALOR	UNIDAD
POWER		
DC Input	6	V
Current Consumption	1.3	A
w/ WBX Daughterboard	2.3	A
CONVERSION PERFORMANCE AND CLOCKS		
ADC Sample Rate	100	MS/s
ADC Resolution	14	bits
ADC Wideband SFDR	88	dBc
DAC Sample Rate	400	MS/s
DAC Resolution	16	bits
DAC Wideband SFDR	80	dBc
Host Sample Rate (8b/16b)	50/25	MS/s
Frequency Accuracy	2.5	ppm
w/ GPSDO Reference	0.01	ppm
RF PERFORMANCE (W/ WBX)		
SSB/LO Suppression	35/50	dBc
Phase Noise (1.8 Ghz)		
10 kHz	-80	dBc/Hz
100 kHz	-100	dBc/Hz
1 MHz	-137	dBc/Hz
Power Output	15	dBm
IIP3	0	dBm
Receive Noise Figure	5	dB
PHYSICAL		
Operating Temperature	0 a 55°	C
Dimensions (l x w x h)	22x16x5	cm
Weight	1.2	Kg

Estructura de la USRP

La USRP dispone de un diseño modular. La estructura interna de la tarjeta USRP N200/N210 se puede apreciar en la siguiente figura.



Estructura interna de la tarjeta USRP N200/N210

Tarjeta HackRF One

HackRF One es una tarjeta SDR de código abierto desarrollado por Great Scott. Es un periférico capaz de transmitir o recibir señales de radio desde 1 MHz a 6 GHz. Diseñado para permitir la prueba y el desarrollo de tecnologías de radio modernas y de próxima generación. HackRF One es una plataforma de hardware de código abierto que puede usarse como un periférico USB o programarse para una operación independiente.



HackRF One

Las características de la tarjeta son las siguientes:

- 1 MHz to 6 GHz Operating Frequency
- half-duplex transceiver
- up to 20 million samples per second
- 8-bit quadrature samples (8-bit I and 8-bit Q)
- compatible with GNU Radio, SDR#, and more
- software-configurable RX and TX gain and baseband filter
- software-controlled antenna port power (50 mA at 3.3 V)

- SMA female antenna connector
- SMA female clock input and output for synchronization
- convenient buttons for programming
- internal pin headers for expansion
- Hi-Speed USB 2.0
- USB-powered
- open source hardware

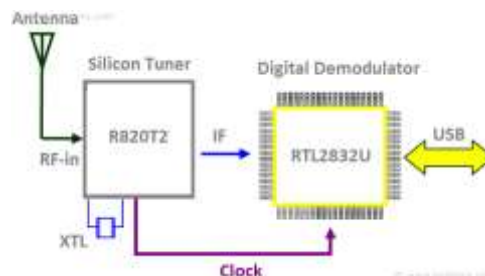
Tarjeta RTL-SDR REALTEK RTL2832U VERSIÓN R820T E4000

La tarjeta RTL2832U es un demodulador DVB-T COFDM de alto rendimiento que dispone de una interfaz USB 2.0. Cumple con varios estándares de calidad y funcionamiento en las especificaciones NorDig Unified 1.0.3, D-Book 5.0, y EN300 744 (ETSI Specification). Es compatible con los modos de transmisión 2K o 8K con 6, 7, y 8MHz de ancho de banda. Puede detectar automáticamente varios parámetros de modulación como la velocidad de código o el intervalo de guarda.



Tarjeta RTL-SDR Realtek RTL2832U versión R820T E4000

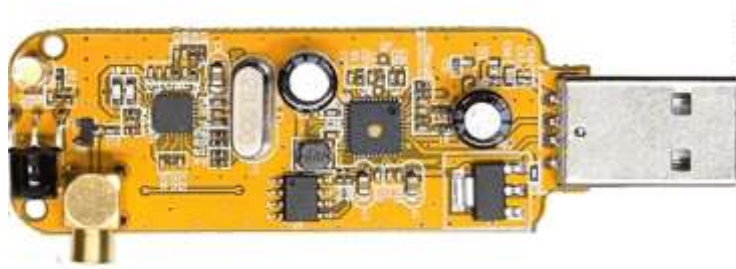
Estructura de la RTL-SDR



Estructura de la tarjeta RTL-SDR

El circuito integrado R820T y R820T2 es sintonizador de silicio usado para aplicaciones de televisión digital. Tiene un consumo de energía ultra bajo de menos de 178mA y

funciona con 3.3V. Este sintonizador IC funciona en conjunción con el demodulador RTL2832U.



Vista superior de la tarjeta RTL-SDR

El circuito integrado RTL2832U es un demodulador de COFDM²⁸ fabricado por Realtek Corporation. Este integrado recibe señales de frecuencia intermedia desde el sintonizador R820T o R820T2. Este circuito integrado provee una conexión USB 2.0 hacia la computadora. La frecuencia de operación opera entre los 36.125 MHz, 4.57 MHz, y Zero-IF output. La frecuencia proporcionada por el cristal es de 28.8 MHz usualmente. El software del controlador SDR permite operar el sintonizador en un amplio rango de frecuencia, y hay controladores disponibles para Windows y Linux.

²⁸ COFDM: Coded Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

ANEXO E. Equipamiento DRM

Fuente: (JARA, T., 2014)



Transmisores DRM

DRM Long Wave Transmitting Station

Zehlendorf LW 500kW



LW transmitter TRAMP 500L
Carrier power of 500kW (~250 kW DRM) in Zehlendorf (Germany)

Dorsetch LW 500kW

LW transmitter TRAMP 500L
Carrier power of 500kW (~250 kW DRM) in Dorsetch (Germany)



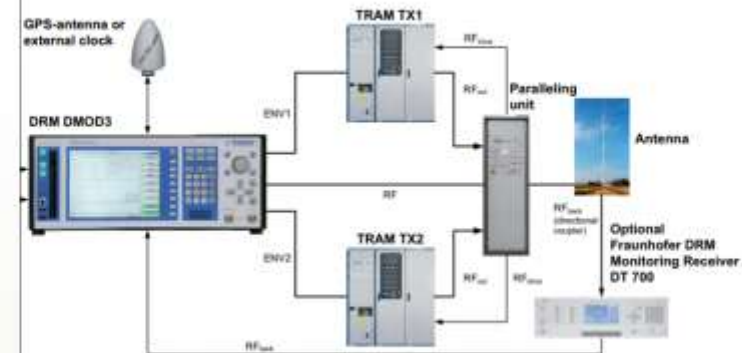
Summerhill LW 300kW



LW transmitter TRAM 300L
Carrier power of 300kW (~150 kW DRM) in Summerhill (Ireland)



OVERVIEW OF THE DRM SOLUTIONS



Transmisores de Radio Digital



Transmisor DRM J1000 de Nautel



INICIO / TRANSMISIÓN DE FM /
EXCITADORES FM

Transmisor FM STXe

[Descargar Manual del Producto](#)

Los nuevos excitadores STXe tienen una huella pequeña y son operativos en modos FM, FM + HD Radio, sólo HD Radio, sólo DRM+ o HD Radio + DRM+.



Marca: BE

Flexibilidad

La serie STX LP Generación II, está diseñado para los estándares digitales del mundo y aplicaciones únicas.

- Compatible con HD Radio.
- Compatible con DRM+.
- Sincronía de Sistemas FM.
- Conectividad IP completa para visualizar el estatus del transmisor.
- Arquitectura escalable que permite aumentar potencia de manera sencilla en un futuro.



Muestra STX LP 5 kW

El STX LP Generación II, combina eficazmente la más alta calidad de ingeniería, ofreciendo características únicas por lo que lo convierte en el mejor transmisor de FM precio/valor en su clase. La combinación de flexibilidad, confiabilidad, redundancia y rendimiento, asegura que un STX LP es una compra inteligente para su emisora de radio.

Receptores DRM



Avion DRM Digital Radio DRM-AM-FM-M&M



Nuevo Receptor Gospell GR-216

27/02/2018 DEJA UN COMENTARIO



Comprar GR-216

El Gospell GR-216 es el receptor DRM de nueva generación diseñado con el objetivo de obtener acceso de bajo costo a información de alta calidad.

El concepto de GR-216 es el precio razonable y el alto rendimiento para un mercado sensible a los precios.



Receptores DRM

ANEXO F. Costos Equipamiento DRM

Fuente: (VARGAS L., 2013)

Costos Equipamiento DRM

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
TOTAL	154,000 a 395,000 dólares
Receptor	150 a 350 dólares

Costos equipos DRM

EQUIPO	COSTO
Equipos radioenlace microonda	2,000 dólares
Dos antenas parabólicas	300 dólares
TOTAL	2,300 dólares

Costos de equipos radioenlace microonda.

EQUIPO	COSTO
Equipos DRM	154,000 dólares
Sistema enlace microonda	2,300 dólares
TOTAL	156,300 dólares

Costo transición analógica – digital

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

Equipos adicionales para un sistema de radiodifusión.

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

Resumen de costos solución DRM.

ANEXO G. Codificación de fuente (Códex – GNU Radio - USRP) Codificador de audio

```
#ifndef INCLUDED_DRM_AUDIO_ENCODER_SB_IMPL_H
#define INCLUDED_DRM_AUDIO_ENCODER_SB_IMPL_H

#include <drm/audio_encoder_sb.h>

namespace gr {
  namespace drm {

    class audio_encoder_sb_impl : public audio_encoder_sb
    {
    private:
      //audio_encoder_sb_impl (transm_params* tp);

      /* member variables */
      float* d_in; // input buffer
      unsigned char* d_out; // output buffer
      unsigned char* d_out_start; // start of output buffer
      int d_n_aac_frames; // number of AAC frames per super audio frame
      int d_time_aac_superframe; // in ms
      int d_n_header_bytes; // number of header bytes
      unsigned int d_n_channels; // number of channels (mono/stereo/...)
      unsigned long d_transform_length; // number of input samples per conversion step
      (transform length, set by encoder)
      unsigned long d_n_max_bytes_out; // max number of bytes (encoder output, set by
encoder)

      int d_n_bytes_audio_payload; // number of bytes of audio payload
      unsigned int d_L_MUX_MSC; // number of decoded bits MSC

      std::string d_text_msg; // text message to be appended to the audio stream
      std::vector< unsigned char > d_text_msg_fmt; // formatted text message
      int d_text_ctr; // counter for the current text frame as per call to work() only
a small part of the text stream is processed
      int d_n_text_frames; // number of text frames (4 byte pieces)
      int d_text_msg_index; // indicates the distance from the beginning of the buffer
where the text message shall be positioned

      std::vector<int> d_n_bytes_encoded; // return value of faacEncEncode(). Used to
determine frame lengths.
      faacEncHandle d_encHandle;
      transm_params* d_tp; // transmission params (holding config/msc/... values)
      // Nothing to declare in this block.

    public:
      audio_encoder_sb_impl(transm_params* tp);
      ~audio_encoder_sb_impl();

      void aac_encode(unsigned char* aac_buffer); // encodes PCM stream to AAC
      void make_drm_compliant(unsigned char* aac_buffer); // reorders and processes
the encoded AAC data to make it DRM compliant. writes to output buffer.
      void prepare_text_message(); // format text message string according to the DRM
standard

      void insert_text_message(); // insert text message
      int general_work (int output_items,
                       gr_vector_int &ninput_items,
                       gr_vector_const_void_star &input_items,
                       gr_vector_void_star &output_items);

      // Where all the action really happens
      void forecast (int noutput_items, gr_vector_int &ninput_items_required);
    };

  } // namespace drm
} // namespace gr

#endif /* INCLUDED_DRM_AUDIO_ENCODER_Sb_IMPL_H */

Codificador de audio GRC
#ifdef HAVE_CONFIG_H
#include "config.h"
#endif
```

```

#include <gnuradio/io_signature.h>
#include "audio_encoder_sb_impl.h"
#include <fstream>

namespace gr {
namespace drm {

audio_encoder_sb::sptr
audio_encoder_sb::make(transm_params* tp)
{
    return gnuradio::get_initial_sptr
        (new audio_encoder_sb_impl(tp));
}

/*
 * The private constructor
 */
audio_encoder_sb_impl::audio_encoder_sb_impl(transm_params* tp)
: gr::block("audio_encoder_sb",
    gr::io_signature::make(1, 1, sizeof(float)),
    gr::io_signature::make(1, 1, sizeof(unsigned char) ))
{
    set_output_multiple(tp->msc().L_MUX());
    // set buffer pointers to NULL
    d_in = NULL;
    d_out = NULL;
    d_out_start = NULL;

    // define variables depending on input parameters

    d_tp = tp;
    switch(tp->cfg().audio_samp_rate())
    {
    case 12000:
        d_n_aac_frames = 5;
        d_time_aac_superframe = 80;
        d_n_header_bytes = 6;
        break;
    case 24000:
        d_n_aac_frames = 10;
        d_time_aac_superframe = 40;
        d_n_header_bytes = 14;
        break;
    case 48000:
        std::cout << "RM E not yet supported!\n";
        break;
    default:
        std::cout << "Unsupported audio sample rate!\n";
        break;
    }

    d_n_channels = 1; // mono
    d_L_MUX_MSC = (tp->msc()).L_MUX();

    // open encoder
    d_encHandle = faacEncOpen(d_tp->cfg().audio_samp_rate(), d_n_channels,
&d_transform_length, &d_n_max_bytes_out);

    if(d_encHandle == NULL)
    {
        std::cout << "FAAC encoder instance could not be opened. Exit.\n";
    }

    // configure encoder
    int sizeof_byte = 8;
    int n_bits_usage = (d_L_MUX_MSC / sizeof_byte) * sizeof_byte;
    int n_bytes_usage = n_bits_usage / sizeof_byte;

    int n_bits_audio_frame = n_bits_usage;
    if(tp->cfg().text())
    {
        n_bits_audio_frame -= 16; // if text message is carried, the last four
bytes are used for this

```



```

    }

    d_n_bytes_audio_payload = n_bits_audio_frame / sizeof_byte - d_n_header_bytes -
d_n_aac_frames /* for CRCs */ ;
    const int n_bytes_act_enc = (int) (d_n_bytes_audio_payload / d_n_aac_frames);
    int bit_rate = (int) (( n_bytes_act_enc * sizeof_byte) / d_time_aac_superframe *
1000);

        /* set encoder configuration */
    faacEncConfigurationPtr cur_enc_format;
    cur_enc_format = faacEncGetCurrentConfiguration(d_encHandle);
    cur_enc_format->inputFormat = FAAC_INPUT_FLOAT;
    cur_enc_format->useTns = 1;
    cur_enc_format->aacObjectType = LOW;
    cur_enc_format->mpegVersion = MPEG4;
    cur_enc_format->outputFormat = 0; /* (0 = Raw; 1 = ADTS) */
    cur_enc_format->bitRate = bit_rate;
    cur_enc_format->bandwidth = 0; /* Let the encoder choose the bandwidth */
    faacEncSetConfiguration(d_encHandle, cur_enc_format);

    // set text message if available
    if(d_tp->cfg().text())
    {
        d_text_msg = tp->cfg().text_message();
        d_text_ctr = 0;
        d_n_text_frames = 0;
        prepare_text_message();
        d_text_msg_index = n_bits_usage - 8 * 4; // set offset index for text
message application
    }
}

/*
 * Our virtual destructor.
 */
audio_encoder_sb_impl::~audio_encoder_sb_impl()
{
}

void
audio_encoder_sb_impl::forecast (int noutput_items, gr_vector_int &ninput_items_required)
{
    unsigned ninputs = ninput_items_required.size ();
    for (unsigned i = 0; i < ninputs; i++)
    {
        ninput_items_required[i] = d_n_aac_frames * d_transform_length;
    }
}

int
audio_encoder_sb_impl::general_work (int noutput_items,
    gr_vector_int &ninput_items,
    gr_vector_const_void_star &input_items,
    gr_vector_void_star &output_items)
{
    /* return if there are not enough samples to produce 1 super audio frame */
    if(ninput_items[0] < d_n_aac_frames * d_transform_length)
    {
        std::cout << "aac_encoder: not enough samples. got " << ninput_items[0]
        << ", need " << d_n_aac_frames * d_transform_length << ". returning.\n";
        return 0;
    }
    //std::cout<<d_L_MUX_MSC <<" " <<d_transform_length<<"
"<<d_n_aac_frames<<std::endl;
    /* set pointers to input and output buffer */
    d_in = (float*) input_items[0];
    d_out = (unsigned char*) output_items[0];
    d_out_start = d_out;
    //std::cout << "start of work()" << std::endl;
    //std::cout << "d_out: " << (long) d_out << std::endl;
    unsigned char* d_out_prev = d_out;

    // set output buffer to zero (corresponds to zeropadding as defined in the DRM
standard)

```

```

memset(d_out, 0, sizeof(char) * d_L_MUX_MSC);

/* encode PCM stream and make it DRM compliant. write to output buffer (in
make_drm_compliant()) */
// init AAC buffer
//std::cout << "aac_encode()" << std::endl;
__GR_VLA(unsigned char, aac_buffer, (const unsigned long) d_n_max_bytes_out *
(const unsigned long) d_n_aac_frames);
aac_encode(aac_buffer); // encodes pcm data for 1 super transmission frame
//std::cout << "d_out: " << (long) d_out << ", bits written: " << d_out -
d_out_prev << std::endl;
d_out_prev = d_out;

//std::cout << "make_drm_compliant()" << std::endl;
make_drm_compliant(aac_buffer); // reorders and processes the data produced by
the encoder to be DRM compliant
//std::cout << "d_out: " << (long) d_out << ", bits written: " << d_out -
d_out_prev << std::endl;
d_out_prev = d_out;
/* insert text message if available */
if( d_tp->cfg().text())
{
    //std::cout << "insert text()" << std::endl;
    insert_text_message();
    //std::cout << "d_out: " << (long) d_out << ", bits written: " << d_out
- d_out_prev << std::endl;
}

/* Call consume each and return */
consume_each (d_transform_length * d_n_aac_frames);

return d_L_MUX_MSC; // n_aac_frames super audio frames -> 1 transmission frame
was produced
}

void
audio_encoder_sb_impl::aac_encode(unsigned char* aac_buffer)
{
    // clear d_n_bytes_encoded
    d_n_bytes_encoded.clear();

    // allocate tmp input buffers for PCM and AAC samples
    __GR_VLA(float, tmp_pcm_buffer, (const unsigned long) d_transform_length); // if
multiple super audio frames are processed, move this outside this function to avoid multiple
allocation
    __GR_VLA(unsigned char, tmp_aac_buffer, (const unsigned long)
d_n_max_bytes_out);

    for (int j = 0; j < d_n_aac_frames; j++)
    {
        /* copy the part of the input data that is converted in this iteration
*/
        memcpy(tmp_pcm_buffer, d_in + j*d_transform_length, d_transform_length *
sizeof(float));

        /* actual encoding */
        int n_bytes_encoded = faacEncEncode(d_encHandle, (int32_t*)
tmp_pcm_buffer, d_transform_length, tmp_aac_buffer, d_n_max_bytes_out);
        d_n_bytes_encoded.push_back(n_bytes_encoded);
        //std::cout << "encoder: n_bytes_encoded: " << n_bytes_encoded << std::endl;
        memcpy(aac_buffer, tmp_aac_buffer, n_bytes_encoded * sizeof(char));
        aac_buffer += n_bytes_encoded;
    }
}

void
audio_encoder_sb_impl::make_drm_compliant(unsigned char* aac_buffer)
{
    /* init buffers for CRC, payload and frame lengths */
    __GR_VLA(unsigned char, crc_bits, (const int) d_n_aac_frames);
    __GR_VLA(int, frame_length, (const int) d_n_aac_frames);
    __GR_VLA(unsigned char*, frame_pos, (const int) d_n_aac_frames);
    frame_pos[0] = aac_buffer;

```



```

/* create header ( accumulated frame lengths | padding | CRC | audio ) */
// calculate frame positions (pointer arithmetic!)
for(int i = 1; i < d_n_aac_frames; i++)
{
    if(d_n_bytes_encoded[i] > 0)
    {
        frame_pos[i] = frame_pos[i-1] + d_n_bytes_encoded[i-1]; // CRC
    }
    else
    {
        frame_pos[i] = frame_pos[i-1]; // no data was encoded in this
    }
}

// extract frame lengths and CRC
for(int i = 0; i < d_n_aac_frames; i++)
{
    if(d_n_bytes_encoded[i] > 0)
    {
        crc_bits[i] = *(frame_pos[i]);
        frame_length[i] = d_n_bytes_encoded[i] - 1; // -1 for CRC
    }
    else
    {
        crc_bits[i] = 0;
        frame_length[i] = 0;
    }
}

// append accumulated frame lengths, i. e. the frame borders
unsigned int acc_frame_length = 0;
for(int i = 0; i < d_n_aac_frames - 1; i++)
{
    acc_frame_length += frame_length[i];
    enqueue_bits_dec(d_out, 12, acc_frame_length);
}

if(d_n_aac_frames == 10)
{
    // add 4 padding bits for byte alignment
    enqueue_bits_dec(d_out, 4, 0);
}

// append CRC words
for(int i = 0; i < d_n_aac_frames; i++)
{
    enqueue_bits_dec(d_out, 8, crc_bits[i]);
}

/* append audio data (EEP is assumed -> no higher protected part) */
/* Higher protected part */
int cur_num_bytes = 0;
int n_higher_prot_bytes = 0; // EEP

/* Lower protected part */
for (int j = 0; j < d_n_aac_frames; j++)
{
    for (int i = n_higher_prot_bytes; i < frame_length[j]; i++)
    {
        /* If encoder produced too many bits, we have to drop them */
        if (cur_num_bytes < d_n_bytes_audio_payload){
            enqueue_bits_dec(d_out, 8, *(frame_pos[j] + 1 + i));
        }
        cur_num_bytes++;
    }
}

}

void
audio_encoder_sb_impl::prepare_text_message()

```

```

{
    //std::cout << "entering prepare()" << std::endl;
    /* prepare the text message string */

    //std::cout << "length of the original string: " << d_text_msg.size() <<
std::endl;
    // determine the number of segments, truncate if needed
    int n_segments = std::ceil( (float) d_text_msg.size()/16); // number of segments
(16 bytes per segment)
    if ( n_segments > 8 ) // max number of segments is 8, truncate if necessary
    {
        std::cout << "Text message is too long! Message gets truncated to the
maximal possible length.\n";
        n_segments = 8;
        d_text_msg.resize(8*16); // max number of segments * max number of bytes
    }
    //std::cout << "length of the resized string: " << d_text_msg.size() <<
std::endl;
    // zero-pad string if its length is not a multiple of four (bytes)
    int n_bytes_pad = (4 - d_text_msg.size() % 4) % 4;
    d_text_msg.append(n_bytes_pad, 0); // append zeros (0x00)

    int len_string_byte = d_text_msg.size(); // length of the string in bytes
    //std::cout << "len of padded string: " << len_string_byte << std::endl;

    // allocate bit array (unpacked) that will hold the real text message stream
    const int len_msg_bit = len_string_byte * 8 + n_segments * (16 + 32 + 16); //
payload + header + leading zeros + CRC
    //std::cout << "len_msg_bit: " << len_msg_bit << std::endl;
    d_n_text_frames = len_msg_bit/(4*8);
    //std::cout << "d_n_text_frames: " << d_n_text_frames << ", n_segments: " <<
n_segments << std::endl;
    __GR_VLA(unsigned char, msg, len_msg_bit);
    memset(msg, 9, len_msg_bit); // set to 9 for debugging purposes

    //std::cout << "msg address: " << (long) &msg[0] << std::endl;
    unsigned char* p_msg = &msg[0];

    // insert leading 0xFF bytes and header
    int ctr = 0; // byte-based counter
    int bits_written_total = 0;
    for(int i = 0; i < n_segments; i++)
    {
        int bits_written = 0;
        unsigned char* seg_ptr = p_msg; // pointer to the beginning of the
current segment

        //std::cout << "insert leading ones and header" << std::endl;
        //std::cout << "msg address: " << (long) &msg[0] << std::endl;
        //std::cout << "segment " << i << ": " << std::endl;
        /* beginning of the segment */
        enqueue_bits_dec(p_msg, 32, 0xFFFFFFFF); // 4 bytes, each set to 0xFF
        bits_written += 32;

        /* header */
        enqueue_bits_dec(p_msg, 1, 0); // toggle flag (changes when segments
from different messages are transmitted)
        bits_written += 1;

        if(i == 0) // first flag
        {
            enqueue_bits_dec(p_msg, 1, 1); // first flag is set
        }
        else
        {
            enqueue_bits_dec(p_msg, 1, 0);
        }
        bits_written += 1;

        if(i == n_segments - 1) // last flag
        {
            enqueue_bits_dec(p_msg, 1, 1); // last flag is set
        }
    }
}

```

```

else
{
    enqueue_bits_dec(p_msg, 1, 0);
}
enqueue_bits_dec(p_msg, 1, 0); // command flag (0 -> Field 1 signals the
length of the body of the segment; if set to 1, field 2 is omitted)
bits_written += 2;

// field 1 (length of the segment in bytes, coded as unsigned number)
if( i < n_segments - 1) // the last segment can hold less than 16 bytes
of character data and has to be treated separately
{
    enqueue_bits_dec(p_msg, 4, 15);
}
else
{
    enqueue_bits_dec(p_msg, 4, len_string_byte - (n_segments-1) * 16
- 1);
}
bits_written += 4;

// field 2
if(i == 0) // first segment
{
    enqueue_bits_dec(p_msg, 4, 0xF); // "1111"
}
else
{
    enqueue_bits_dec(p_msg, 1, 0); // rfa
    enqueue_bits_dec(p_msg, 3, i); // segment number (1-7)
}
bits_written += 4;

enqueue_bits_dec(p_msg, 4, 0); // rfa
bits_written += 4;

//std::cout << "insert body" << std::endl;
//std::cout << "msg address: " << (long) &msg[0] << std::endl;
/* body */
if(i < n_segments - 1) // this is a 'full' segment
{
    for(int j = 0; j < 16; j++)
    {
        enqueue_bits_dec(p_msg, 8, (unsigned char)
d_text_msg[ctr]); // unpack one byte and write it to the stream
        bits_written += 8;
        ctr++;
    }
    enqueue_crc(seg_ptr + 32, d_tp, bits_written - 32, 162);
    p_msg += 16; // enqueue crc does not move the array pointer
    bits_written += 16;
}
else // last segment
{
    for(int j = 0; j < len_string_byte - (n_segments-1) * 16; j++)
    {
        enqueue_bits_dec(p_msg, 8, (unsigned char)
d_text_msg[ctr]);

        bits_written += 8;
        ctr++;
    }
    enqueue_crc(seg_ptr + 32, d_tp, bits_written - 32, 162);
    p_msg += 16; // enqueue crc does not move the array pointer
    bits_written += 16;
}

bits_written_total += bits_written;

/*
//std::cout << "prefix: ";
for(int k = 0; k < 32; k++)
    std::cout << (int) seg_ptr[k];

std::cout << std::endl;

```

```

        //std::cout << "header: ";
        for(int k = 0; k < 16; k++)
            std::cout << (int) seg_ptr[k+32];
        std::cout << std::endl;

        //std::cout << "body: ";
        for(int k = 0; k < bits_written - 32 - 16 - 16; k++)
            std::cout << (int) seg_ptr[k + 48];
        std::cout << std::endl;

        //std::cout << "CRC: ";
        for(int k = 0; k < 16; k++)
            std::cout << (int) seg_ptr[k + bits_written - 16];
        std::cout << std::endl;
        */
    }

    //std::cout << "total bits written: " << bits_written_total << std::endl;

    //std::cout << "copy array into a vector" << std::endl;
    //std::cout << "msg address: " << (long) &msg[0] << std::endl;
    // copy the char array into a vector (more convenient)
    d_text_msg_fmt.assign(&msg[0], &msg[0] + len_msg_bit);
    //std::cout << "return from prepare()" << std::endl;
}

void
audio_encoder_sb_impl::insert_text_message()
{
    // text message handling (last 4 bytes of lower protected payload). For details
    // see chapter 6.5 in the standard.
    d_out = d_out_start + d_text_msg_index; // set output buffer pointer to the
    // beginning of the text message

    //std::cout << "write message to output stream" << std::endl;
    // determine the part of the message that is to be inserted in this call to
work()

    //std::cout << "actually inserted bits (ctr: " << d_text_ctr << "): ";
    for(int i = 0; i < 32; i++)
    {
        *d_out++ = d_text_msg_fmt[d_text_ctr*32 + i];
        //std::cout << (int) *(d_out-1);
        //if((i+1)%8 == 0){std::cout << std::endl;}
    }
    //std::cout << std::endl << std::endl;
    d_text_ctr = (d_text_ctr + 1) % d_n_text_frames;
    //std::cout << "return from insert()" << std::endl;
}

} /* namespace drm */
} /* namespace gr */

```