



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL BASADO EN SOFTWARE USANDO SDR (RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE), PARA EL ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD DE LA MIGRACIÓN DE TELEVISIÓN ANALÓGICA A DIGITAL EN ECUADOR.

MARIA ELIZABETH GUAÑO ALVAREZ

Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos 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

Agosto 2017

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, denominado: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL BASADO EN SOFTWARE USANDO SDR (RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE), PARA EL ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD DE LA MIGRACIÓN DE TELEVISIÓN ANALÓGICA A DIGITAL EN ECUADOR”, de responsabilidad de la Ingeniera María Elizabeth Guaño Alvarez, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

Dr. Freddy Proaño Ortiz; PhD.

PRESIDENTE

Ing. Hugo Moreno Avilés; PhD.

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Roberto Morales Muchagalo; M.Sc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Jefferson Ribadeneira Ramírez; PhD.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Riobamba, Agosto 2017

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, María Elizabeth Guaño Alvarez soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y en el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

MARIA ELIZABETH GUAÑO ALVAREZ

No. Cédula: 060286691-5

Yo, María Elizabeth Guaño Alvarez, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría

MARIA ELIZABETH GUAÑO ALVAREZ

No. Cédula: 060286691-5

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a DIOS por ser la energía que ilumina cada uno de mis días, a mi Esposo por ser el motor de cada sueño cumplido y de muchos más, a mis padres por su apoyo incondicional, y mi hermana por estar siempre junto a mí.

Este trabajo no estaría completo sin agradecer inmensamente a mi grupo de trabajo y amigos de REDES del DTIC de la ESPOCH por darme su apoyo en cada paso.

Mary.

CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN..... | xi |
| SUMMARY | xii |
| | |
| CAPITULO I | |
| 1. INTRODUCCIÓN | 13 |
| 1.1. Planteamiento del problema..... | 13 |
| 1.2. Formulación del problema | 13 |
| 1.3. Preguntas directrices o específicas de la investigación | 14 |
| 1.4. Justificación de la investigación..... | 14 |
| 1.5. Objetivos | 15 |
| <i>1.5.1. Objetivo General.....</i> | <i>15</i> |
| <i>1.5.2. Objetivos Específicos.....</i> | <i>15</i> |
| 1.6. Hipótesis..... | 15 |
| | |
| CAPITULO II | |
| 2. MARCO TEÓRICO | 16 |
| 2.1. Antecedentes | 16 |
| 2.2. Bases teóricas..... | 17 |
| <i>2.2.1. Televisión Analógica.....</i> | <i>17</i> |
| <i>2.2.2. Televisión Digital Terrestre</i> | <i>19</i> |
| <i>2.2.3. Estándar ISDB-T (Norma Brasileña)</i> | <i>22</i> |
| <i>2.2.4. Sistema de Transmisión</i> | <i>27</i> |
| <i>2.2.5. Estándar ISDB-T vs DVB-T</i> | <i>37</i> |
| <i>2.2.6. Radio Definido por Software</i> | <i>38</i> |
| | |
| CAPITULO III | |
| 3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN..... | 42 |
| 3.1. Modelamiento del Sistema..... | 42 |
| <i>3.1.1. Sistema de Transmisión</i> | <i>42</i> |
| 3.2. Escenario de Simulación..... | 46 |
| <i>3.2.1. Transmisor.....</i> | <i>46</i> |
| <i>3.2.2. Receptor</i> | <i>48</i> |
| 3.3. Pruebas..... | 50 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.3.1. | <i>Prueba 1, Modulación QPSK – 1/2.....</i> | 50 |
| 3.3.2. | <i>Prueba 2, Modulación QPSK – 2/3</i> | 51 |
| 3.3.3. | <i>Prueba 3, Modulación QPSK – 3/4.....</i> | 53 |
| 3.3.4. | <i>Prueba 4, Modulación 16QAM – 1/2.....</i> | 54 |
| 3.3.5. | <i>Prueba 5, Modulación 16QAM – 2/3.....</i> | 55 |
| 3.3.6. | <i>Prueba 6, Modulación 16QAM – 3/4.....</i> | 56 |
| 3.3.7. | <i>Prueba 7, Modulación 64QAM – 1/2.....</i> | 57 |
| 3.3.8. | <i>Prueba 8, Modulación 64QAM – 2/3.....</i> | 58 |
| 3.3.9. | <i>Prueba 9, Modulación 64QAM – 3/4.....</i> | 59 |

CAPITULO IV

| | | |
|--------|--|----|
| 4. | RESULTADOS Y ANÁLISIS | 61 |
| 4.1. | RESULTADOS..... | 61 |
| 4.1.1. | <i>Resultados de las Pruebas.....</i> | 61 |
| 4.1.2. | <i>Comparación de TDT basado en Software vs TDT basado en Hardware</i> | 63 |
| 4.1. | ANÁLISIS..... | 65 |
| 4.2.1. | <i>Demostración de la Hipótesis</i> | 66 |

| | | |
|--|--------------------------|----|
| | CONCLUSIONES..... | 69 |
|--|--------------------------|----|

| | | |
|--|-----------------------------|----|
| | RECOMENDACIONES..... | 70 |
|--|-----------------------------|----|

GLOSARIO

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1-2 Bandas de Televisión VHF y UHF | 18 |
| Tabla 2-2 Grupos de Canales para televisión VHF y UHF | 19 |
| Tabla 3-2 Resultados de las mediciones de cada estándar | 20 |
| Tabla 4-2 Modos de Operación OFDM | 24 |
| Tabla 5-2 Relación de Protección de señal deseada / Señal no deseada | 26 |
| Tabla 6-2 Criterios de aplicación de máscaras de protección | 27 |
| Tabla 7-2 Parámetros del sistema de transmisión. | 28 |
| Tabla 8-2: Valor de Atraso (N representa el número de segmentos usados por la capa jerárquica.) | 32 |
| Tabla 9-2 Equipos Etapa de Producción de TV | 36 |
| Tabla 10-2 Características de Equipos para Tx de TDT - ISDB-T | 36 |
| Tabla 11-2. Características ISDB-T vs DVB-T | 38 |
| Tabla 1-3 Identificación de indicadores LED - USRP | 45 |
| Tabla 2-3 Ganancia Antena VERT400 | 45 |
| Tabla 1-4 Tabla de resultados | 61 |
| Tabla 2-4 Tabla de resultados de comparación subjetiva..... | 62 |
| Tabla 3-4 Comparación de Funcionamiento TDT - SDR y TDT - HW..... | 64 |
| Tabla 4-4 Comparación Subjetiva de Calidad TDT-SDR y TDT-HW | 64 |
| Tabla 5-4 Comparación Económica TDT-SDR Y TDT-HW | 65 |
| Tabla 6-4 Ponderación de los parámetros de calificación. | 65 |
| Tabla 7-4 Valoración de calificación de cada parámetro | 66 |
| Tabla 8-4 Notas de los parámetros de evaluación TDT-SDR y TDT-HW | 66 |
| Tabla 9-4 Frecuencias Observadas..... | 67 |
| Tabla 10-4 Frecuencias del Valor Esperado o teóricas | 67 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1-2 Espectro Señal de Televisión Analógica..... | 18 |
| Figura 2-2 Estaciones TV Abierta – Digital | 22 |
| Figura 3-2 Distribución de espectro para TDT en Ecuador | 22 |
| Figura 4-2. Sistema de Transmisión de Televisión Digital..... | 23 |
| Figura 5-2 Uso del Espectro ISDB-T..... | 25 |
| Figura 6-2 Organización de los Segmentos ISDB-T..... | 25 |
| Figura 7-2 Espaciamiento en Frecuencia MHz..... | 26 |
| Figura 8-2 Diagrama de Bloques del Sistema de Transmisión | 28 |
| Figura 9-2. Bloques de codificación - Sistema de Transmisión..... | 29 |
| Figura 10-2. a) TSP -MPEG2, b) Transmisión TSP | 31 |
| Figura 11-2. Polinomio PRBS | 31 |
| Figura 12-2. Modulador de Portador..... | 33 |
| Figura 13-2 Modulador DQPSK | 33 |
| Figura 14-2 Modulación 16QAM | 34 |
| Figura 15-2 Modulación 64QAM | 34 |
| Figura 16-2 Sistema de Comunicación Convencional vs Software Radio..... | 39 |
| Figura 17-2 Bloques del sistema de Comunicaciones de Software Radio..... | 41 |
| Figura 18-2 Diagrama de Bloques USRP | 41 |
| Figura 1-3 Modelamiento del Sistema | 42 |
| Figura 2-3 Diagrama de bloques Transmisor del Sistema | 43 |
| Figura 3-3 Diagrama de bloques Receptor del Sistema | 43 |
| Figura 4-3 Tarjeta USRP | 44 |
| Figura 5-3 Antena VERT400..... | 45 |
| Figura 6-3 Escenario de simulación..... | 46 |
| Figura 7-3 Transmisor TDT | 46 |
| Figura 8-3 Programa de Transmisión de video | 47 |
| Figura 9-3 Receptor TDT..... | 48 |
| Figura 10-3 Programa de Recepción de video | 49 |
| Figura 11-3 Rendimiento del Tx..... | 50 |
| Figura 12-3 Prueba 1 Transmisor: a) Espectro b) Constelación | 50 |
| Figura 13-3 Prueba 1 Receptor: a) Espectro b) Constelación | 51 |
| Figura 14-3 Video Recibido Prueba 1..... | 51 |
| Figura 15-3 Prueba 2 Transmisor: a) Espectro b) Constelación | 52 |
| Figura 16-3 Prueba 2 Receptor: a) Espectro b) Constelación | 52 |
| Figura 17-3 Video Recibido Prueba 2..... | 52 |
| Figura 18-3 Prueba 3 Transmisor: a) Espectro b) Constelación | 53 |
| Figura 19-3 Prueba 3 Receptor: a) Espectro b) Constelación | 53 |
| Figura 20-3 Video Recibido Prueba 3..... | 54 |
| Figura 21-3 Prueba 4 Transmisor: a) Espectro b) Constelación | 54 |
| Figura 22-3 Prueba 4 Receptor: a) Espectro b) Constelación | 55 |
| Figura 23-3 Video Recibido Prueba 4..... | 55 |

| | |
|---|----|
| Figura 24-3 Prueba 5 Transmisor: a) Espectro b) Constelación | 56 |
| Figura 25-3 Prueba 5 Receptor: a) Espectro b) Constelación | 56 |
| Figura 26-3 Prueba 6 Transmisor: a) Espectro b) Constelación | 57 |
| Figura 27-3 Prueba 6 Receptor: a) Espectro b) Constelación | 57 |
| Figura 28-3 Prueba 7 Transmisor: a) Espectro b) Constelación | 58 |
| Figura 29-3 Prueba 7 Receptor: a) Espectro b) Constelación | 58 |
| Figura 30-3 Prueba 8 Transmisor: a) Espectro b) Constelación | 59 |
| Figura 31-3 Prueba 8 Receptor: a) Espectro b) Constelación | 59 |
| Figura 32-3 Prueba 9 Transmisor: a) Espectro b) Constelación | 60 |
| Figura 33-3 Prueba 9 Receptor: a) Espectro b) Constelación | 60 |
| Figura 1-4 Gráfica de Chi-Cuadrado | 68 |

RESUMEN

El objetivo fue implementar un sistema de transmisión de televisión digital basado en software, usando radio definida por software (SDR), para analizar la factibilidad técnica de la migración de Televisión Analógica a Digital en Ecuador. Se desarrolló una investigación de tipo no experimental, con enfoque cualitativo. El escenario de implementación se desplegó dentro de la infraestructura de la Dirección de Tecnologías de la Información y Comunicación (DTIC) de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), donde el transmisor está virtualizado y el receptor es un computador, los dos equipos contienen sistema operativo Linux - Fedora en el cual se usó la herramienta GNU Radio que realiza el procesamiento de la señal para posteriormente enviar la señal de video al medio a través del periférico de salida de la tarjeta USRP. Se realizaron pruebas de transmisión con variaciones de modulación y codificación aplicando el modo de transmisión 2k, posteriormente se analizó la degradación de la señal usando el método de comparación subjetiva para determinar la calidad de la señal según la combinación de modulación y codificación, donde se obtuvieron que los parámetros aplicados, con los que se logró un mejor resultado fueron modulación QPSK con codificación 1/2. Además, se realizó la comparación del transmisor basado en software y el transmisor convencional para definir la factibilidad técnica y económica del sistema implementado en la migración de televisión digital en Ecuador. Se concluye que el sistema implementado es una alternativa viable para aplicar a la migración a televisión digital. Se recomienda aplicar el sistema implementado en un canal de televisión universitario para realizar pruebas de difusión.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <TELEVISIÓN DIGITAL>, <PROCESAMIENTO DE SEÑALES DIGITALES >, <DEGRADACIÓN DE LA SEÑAL>, <RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE (SDR)>.

SUMMARY

The objective was to implement a digital television transmission system based on software, using software defined radio (SDR), to analyze the technical feasibility of migration from Analog to Digital Television in Ecuador. Non-experimental research was developed with a qualitative approach. The implementation scenario was deployed within the infrastructure of the Information and Communication Technologies Department (DTIC) of a Higher School of Chimborazo (ESPOCH), where the transmitter is virtualized and the receiver is a computer, both computers contain the Linux-Fedora operating system in which the GNU Radio tool was used to perform the signal processing to subsequently send the video signal to the medium through the output peripheral of the USRP card. Transmission tests with modulation and coding variations were carried out by applying the 2k transmission mode, then the signal degradation was analyzed using the subjective comparison method to determine the signal quality according to the combination of modulation and coding, where they were obtained that the parameters applied, with which a better result was achieved were QPSK modulation with $\frac{1}{2}$ coding. In addition, the software-based transmitter and the conventional transmitter were compared to define the technical and economic feasibility of the system implemented in the television migration in Ecuador. It is concluded that the implemented system is a viable alternative to apply to the migration to digital television. It is recommended to implement the system implemented in a university television channel to carry out diffusion tests.

KEY WORDS: <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCE>, <TELECOMMUNICATIONS>, <DIGITAL TELEVISION>, <DIGITAL SIGNAL PROCEDURE>, <SIGNAL DEGRADATION>, <DEFINED SOFTWARE RADIO (SDR)>.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1.Planteamiento del problema

En adelante se considera como problema de investigación la implementación de un sistema de transmisión de Televisión digital basado en software usando SDR (Radio Definido por Software), para el análisis de la factibilidad técnica de la migración de televisión analógica a digital en Ecuador.

Esta investigación será un aporte al estudio de los procesos que forman parte del sistema de transmisión digital de televisión, ya que se enfocará en el proceso de transición de la señal de video analógica a digital y la diferencia entre un sistema basado en software versus los equipos de televisión digital destinados para la misma función.

Este estudio permitirá observar la calidad de señal transmitida y los parámetros necesarios para su implementación de esta manera se determinarán la viabilidad de aplicación del sistema implementado.

1.2.Formulación del problema

En base a la situación actual de la migración de la televisión digital en Ecuador y todo el proceso que todavía falta por recorrer, este proyecto pretende determinar si la implementación del sistema de transmisión de televisión digital basado en software es una alternativa viable para los equipos de transmisión que se usa en una televisora ya que el presupuesto para los canales de televisión es limitado para migrar a una señal digital.

1.3.Preguntas directrices o específicas de la investigación

¿Cuáles son los mejores parámetros aplicados a la Implementación de un sistema de transmisión de televisión digital basado en software usando SDR para determinar una correcta transmisión?

¿Cómo la implementación de un sistema de transmisión de televisión digital basado en software usando SDR permitirá Analizar la factibilidad técnica de migración de Televisión Analógica a Digital en Ecuador?

1.4.Justificación de la investigación

En Ecuador según el INEC el 94% de la población es consumidor de la señal de televisión y con el creciente consumo de internet según los registros del Arcotel a diciembre del 2015 es de alrededor de 16 millones de usuarios, cada vez es más común que los usuarios prefieran servicio de televisión a través de internet, es por ello que la televisión convencional tiene que evolucionar y la meta es la televisión digital para convertirse en un servicio que puede interactuar con el usuario, brindar mejor calidad de señal y nuevos servicios .

El 26 de marzo del 2010 según el Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información, Ecuador adopta oficialmente el estándar ISDB-Tb para la Televisión digital Terrestre, actualmente se realizan pruebas de señal de televisión digital en algunas ciudades como Quito y Guayaquil, el comité interinstitucional técnico es el encargado de los lineamientos de la implementación de televisión digital terrestre, lo que implica para los canales de televisión una inversión de equipos para iniciar con la transmisión de la señal digital, todo esto puede generar un gran costo de inversión.

Con la implementación de un sistema de transmisión de televisión digital con SDR se define la factibilidad técnica de un sistema alternativo al equipo físico de transmisión que requieren los canales de televisión para difundir su señal digital, y determinar la calidad del servicio del canal.

1.5.Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Implementar un sistema de transmisión de televisión digital basado en software usando SDR (radio definido por software), para analizar la factibilidad técnica de la migración de Televisión Analógica a Digital en Ecuador.

1.5.2.Objetivos Específicos

- Implementar un sistema de transmisión de televisión digital basado en software usando SDR, en el que se aplique los mejores parámetros para una correcta transmisión.
- Analizar la factibilidad técnica de migración de Televisión Analógica a Digital en Ecuador mediante la implementación de un sistema de transmisión de televisión digital basado en software usando SDR

1.6.Hipótesis

La migración de televisión analógica a digital en Ecuador será factible mediante la implementación de un sistema de transmisión de televisión digital basado en software usando SDR (Radio Definido por Software).

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

La televisión digital en el Ecuador se inicia con la adopción del Estándar ISDB-Tb en el país según resolución n° 084-05-CONATEL-2010 en el que se dispone a la Secretaria Nacional de Telecomunicaciones y la Superintendencia de Telecomunicaciones elaboren las Normas técnicas y regulación para la implementación de televisión digital terrestre en el Ecuador. Posteriormente se delega al MINTEL para que lidere el proceso de migración de televisión digital según resolución RTV-596-16-CONATEL-2011. En el mismo año se crea el Comité Interinstitucional Técnico para la implementación de la Televisión Digital Terrestre (CITDT). (Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información, 2015)

Según boletín de prensa N°. MT-BP 49-2013 del 10 de mayo del 2013, el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, informó que el “apagón analógico” en Ecuador se producirá en diciembre del 2018, según la Resolución RTV-618-24-CONATEL-2012 emitida por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL). (Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información, 2015)

La migración de la televisión analógico a digital ya ha iniciado y con ello varios estudios sobre la migración de TDT en Ecuador. Se designó a la SUPERTEL como encargada de realizar el “*Informe para la Definición e Implementación de la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador*” para determinar cuál es el estándar que mejor se aplica al territorio Ecuatoriano, inició los ensayos en Quito realizando pruebas de calidad de señal de video en base a la perspectiva subjetiva de los usuarios.(SUPERTEL, 2008)

Según la Ley de Comunicación del Estado Ecuatoriano se debe asignar las frecuencias de manera equitativa entre los medios públicos, privados y comunitarios es por ello que en el 2016 se lanzó el CONCURSO NACIONAL DE FRECUENCIAS en el que se lanza a concurso 1472 frecuencias de las cuales 478 son para televisión, esto en base a un comunicado del ARCOTEL en su página web del 12 de abril del 2016. Es por ello que como parte de la primera etapa del

apagón analógico el cual termina el 30 de junio del 2017 el cual se debe aplicar en las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca; se ha retirado dos frecuencias analógicas a RTS Quito y Televiscentro, queda aún pendiente varias estaciones de televisión analógica y con ello nos queda como inquietud ¿Se culminará el apagón analógico según lo previsto?

2.2. Bases teóricas

Los sistemas de comunicación digital tienen gran complejidad lo que demanda métodos de desarrollo más efectivos y rápidos, equipos más robustos y requerimientos de hardware más elevados. La constante evolución de los equipos digitales hace que se exija mayor rendimiento de hardware, sin embargo, existe otra alternativa que son sistemas de transmisión basados en software más específicamente Radio definido por software, sus siglas en inglés SDR, este concepto provee de flexibilidad al desarrollar nuevos componentes para comunicaciones. Una de las aplicaciones de SDR es el procesamiento de televisión digital terrestre TDT que pueden establecer una solución a las limitaciones de un equipo físico.

2.2.1. Televisión Analógica

La televisión analógica es una señal de video acompañada de sonido la cual es enviada a través del espectro radioeléctrico como una señal eléctrica las cuales son procesadas y moduladas por las antenas receptoras o repetidoras para regresar la señal a su forma original. (Alvarado, 2015).

La principal desventaja de la transmisión de señal analógica es el uso ineficiente del espectro radioeléctrico.

La codificación para la señal de televisión analógica es NTSC (Comisión Nacional de Sistemas de Televisión) que transmite 525 líneas de televisión a 30 cuadros por segundo, la modulación para las imágenes es de amplitud (AM) y para el audio es en frecuencia (FM), el ancho de banda de video es de 4.25MHz y del audio 4.5MHz sobre la portadora de video. La señal de televisión NTSC utiliza un ancho de banda de 6MHz como se muestra en la Figura 1-2. (Alvarado, 2015).

Según el CONATEL ahora el ARCOTEL dentro del Plan Nacional de Frecuencias otorga la concesión de frecuencias para uso de la radiodifusión y televisión analógica las bandas de frecuencias VHF y UHF, la distribución de las mismas se describe en la Tabla 1-2.

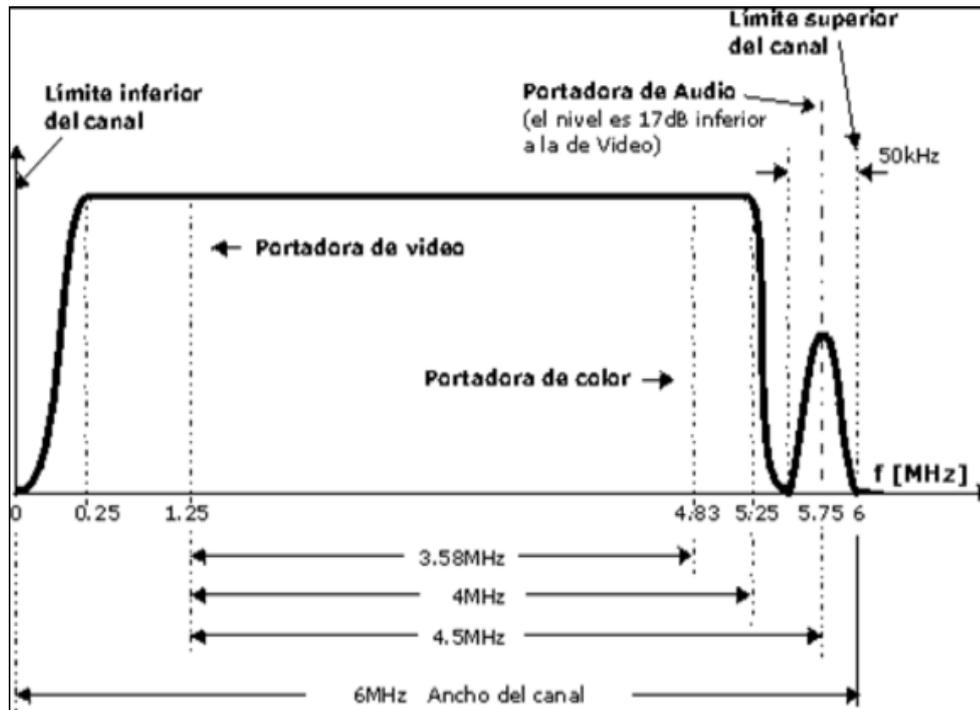


Figura 1-2 Espectro Señal de Televisión Analógica
Fuente: Alvarado J, AVECILLAS A. (2015).

Tabla 1-2 Bandas de Televisión VHF y UHF

a) Bandas de VHF

| BANDA | RANGO DE FRECUENCIAS | CANALES |
|-----------|----------------------|---------------------|
| Banda I | 54-72 MHz | 2,3,4 |
| | 76-88 MHz | 5 y 6 |
| Banda III | 174-216 MHz | 7,8,9,10,11,12 y 13 |

b) Bandas de UHF

| BANDA | RANGO DE FRECUENCIAS | CANALES |
|----------|----------------------|--------------|
| Banda IV | 512-608 MHz | 21,22,...,36 |
| | 614-644 MHz | 38,19,...,42 |
| Banda V | 644-662 MHz | 43,44,45 |

Fuente: Alvarado J, AVECILLAS A. (2015). [5]

Los canales se agrupan de acuerdo a los resultados de factibilidad de transmisión de acuerdo a su zona para determinar si existe o no interferencia entre canales adyacentes, la tabla 2-2 muestra las agrupaciones de los canales y el anexo 2 la Distribución de canales por Zona Geográfica.

Tabla 2-2 Grupos de Canales para televisión VHF y UHF

a) Televisión VHF

| GRUPO | CANALES |
|-------|-----------|
| 1 | 2,3,4 |
| A2 | 3,6 |
| B1 | 8,10,12 |
| B2 | 7,9,11,13 |

b) Televisión UHF

| GRUPO | CANALES |
|-------|----------------------------|
| G1 | 19,21,23,25,27,29,31,33,35 |
| G2 | 20,22,24,26,28,30,32,34,36 |
| G3 | 39,41,43,45,47,49 |
| G4 | 38,40,42,44,46,48 |

Fuente: Alvarado J, Avecillas A. (2015).

Se obtiene 42 canales de la distribución de bandas cada una con un ancho de banda de 6MHz, se muestra en la tabla Canalización de las Bandas VHF y UHF del Anexo 3.

El Estado reserva los canales 19 y 20 debido a que sus frecuencias serán utilizadas para la migración de televisión digital.

2.2.2. Televisión Digital Terrestre

La televisión digital Terrestre (TDT), resulta de la aplicación de procesos de digitalización a la señal de televisión analógica, este proceso permitirá brindar nuevos servicios interactivos que complementen el servicio de televisión.

La TDT utiliza eficientemente el espectro radioeléctrico permitiendo la optimización del mismo gracias a la subdivisión de canales, es decir puede usar el mismo ancho de banda para emitir hasta 5 canales SDTV (Definición Estándar de Televisión – siglas en inglés), la señal de televisión digital se transmite sobre las bandas de frecuencia VHF Y UHF las mismas que actualmente son usadas para la transmisión de televisión analógica. (Alvarado, 2015).

2.2.2.1. TDT en el Ecuador

La televisión analógica en el Ecuador inicia el 5 de diciembre de 1959 con la concesión de canales de televisión, hoy en día es uno de los servicios de comunicación más usados por la población;

Sin embargo, actualmente el avance tecnológico y los requerimientos de calidad de la señal hacen que se tienda a la televisión digital por ello en el 2007 el Presidente de la República del Ecuador según decreto ejecutivo 681 del 18 de octubre del mismo año, delegó a la SUPERTEL realizar las investigaciones y pruebas necesarias para determinar cuál es el estándar más adecuado para el territorio Ecuatoriano, por tanto con el apoyo del Gobierno de Japón y Europeo realizaron pruebas con equipos de transmisión de televisión digital para DVB-T e ISDB-T. (Alulema D.,2012)

Las pruebas comenzaron el 20 de febrero del 2009 en la ciudad de Quito iniciando con los estándares DVB-T e ISDB-T, posteriormente en junio se continua con la Norma Brasileña ISDB-Tb o SBRVD (*Sistema Nipo-Brasileño de Televisión Digital Terrestre*) y el estándar Chino DTMB (*Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting*).

Para las pruebas se emplearon equipos transmisores de 500W aplicado un ancho de banda de 6MHz a través de los canales 43, 45 y 47 de la banda UHF asignados por el CONARTEL. Las pruebas dieron como resultado los datos descritos en la tabla 3-2.

Tabla 3-2 Resultados de las mediciones de cada estándar

| PRUEBAS | OBJETIVO | PARÁMETROS | RESULTADOS | | |
|----------|----------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | | ESTÁNDAR | MEDIDOS (promedio) | PONDERACIÓN AL 30% |
| Técnicas | Cobertura | Intensidad de Campo | DVB-T | 57,49 | 26,86% |
| | | | ISDB-T | 57,75 | 30% |
| | Disponibilidad | Voltaje en el receptor | ESTÁNDAR | MEDIDOS (promedio) | PONDERACIÓN AL 10% |
| | | | DVB-T | 26,49 | 9,90% |
| | | | ISDB-T | 26,76 | 10% |
| | | Ancho de banda | ESTÁNDAR | MEDIDOS | PONDERACIÓN AL 10% |
| | | | DVB-T | < 6 MHz | 10% |
| | | | ISDB-T | < 6 MHz | 10% |
| | Señal a ruido | ESTÁNDAR | MEDIDOS (promedio) | PONDERACIÓN AL 10% | |

| | | | | | |
|-------------------|---------|----------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|
| | | | DVB-T | 18,77 | 9,37% |
| | | | ISDB-T | 20,03 | 10% |
| Subjetivas | Calidad | Exteriores, Interiores | ESTÁNDAR | MEDIDOS | PONDERACIÓN AL 20% |
| | | | DVB-T | 115 | 10,55% |
| | | | ISDB-T | 218 | 20% |
| | | Móvil | ESTÁNDAR | MEDIDOS | PONDERACIÓN AL 10% |
| | | | DVB-T | 3 | 6% |
| | | | ISDB-T | 5 | 10% |
| | | Portátil, Peatonal y Personal | ESTÁNDAR | MEDIDOS | PONDERACIÓN AL 10% |
| | | | DVB-T | - | - |
| | | | ISDB-T | 82 | 10% |

Fuente: SUPERTEL, (2008), Informe para la Definición e Implementación de la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador.

Según el informe presentado por la SUPERTEL determina que el sistema ATSC no es aplicable debido a su bajo rendimiento en condiciones de recepción móvil y multicamino; (Wu, Y.,2000)

Los estándares DVB-T e ISDB-T tienen rendimientos similares en áreas altamente pobladas, sin embargo ISDB-T tiene mejor rendimiento en interiores, es superior en inmunidad al ruido de impulso y mayor flexibilidad en recepción móvil.

Como conclusión del estudio de la SUPERTEL ISDB-Tb para la televisión digital terrestre permitirá optimizar el espectro radioeléctrico a través de la multiplexación del canal de 6MHz, y debido a que es una señal digital robusta frente interferencias. (Wu, Y.,2000)

De acuerdo a los datos más eficientes de los estándares y en términos de cooperación internacional y aspectos estratégicos el CONARTEL determina adoptar el estándar ISDB-T con variaciones brasileñas en su versión internacional. (Wu, Y.,2000)

El apagón analógico en el Ecuador se cumplirá en tres etapas el cambio de las ciudades principales Quito, Guayaquil y Cuenca hasta el 30 de junio del 2017, luego las ciudades con más de 200mil habitantes hasta 31 de Diciembre del 2017 y por último el apagón total hasta el 31 de diciembre del 2018, Actualmente existen algunos canales de televisión que transmiten señal de alta definición pero a través del frecuencia analógica.

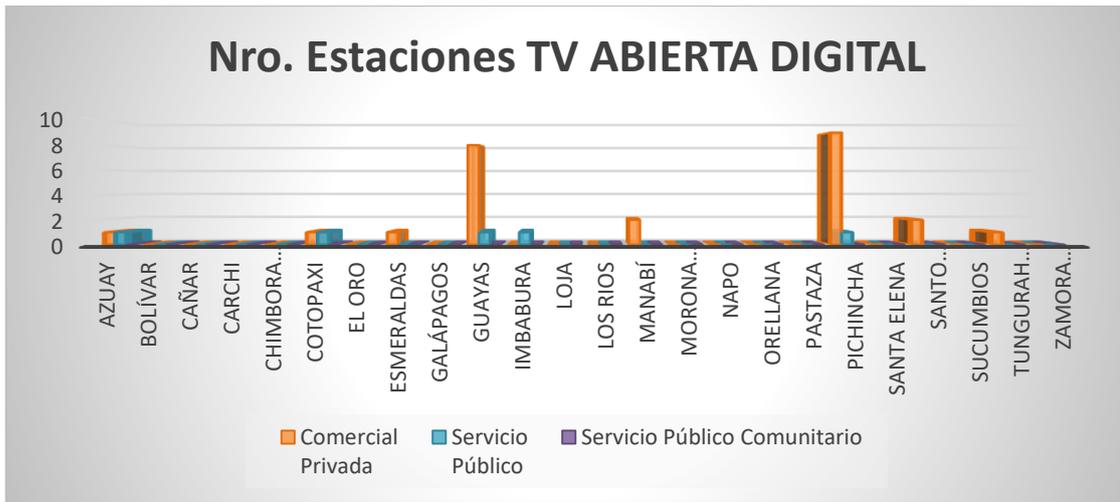


Figura 2-2 Estaciones TV Abierta – Digital

Fuente: ARCOTEL, Número de Estaciones Concesionadas de TV Abierta Analógica y TDT por provincia y por tipo.

Según una publicación del ARCOTEL difundida en marzo del 2017 las provincias en las que ya tiene desplegado al menos un canal TDT son Azuay, Cotopaxi, Esmeraldas, Guayas, Manabí, Pichincha, Santo Domingo de los Tsachilas y Tungurahua como muestra la figura 2-2, siendo el mayor despliegue en Pichincha entre ellos: canal uno, Empresa pública de televisión y radio del Ecuador, y Guayas con: Teamazonas Gye, Telecuatro Gye, Televisión Satelital entre otros.



Figura 3-2 Distribución de espectro para TDT en Ecuador

Fuente: Ribadeneira, J., (Febrero 2016)

A través del estudio “Planificación de Frecuencias para Televisión Digital Terrestre (TDT) en Sudamerica” de Ribadeneira J. define que el espectro para televisión digital puede estar compartido con un canal adyacente para la transmisión analógica, y la banda de 700MHz para pruebas con 4G, el espectro para TDT en Ecuador se muestra en la siguiente figura 3-2:

2.2.3. Estándar ISDB-T (Norma Brasileña)

El estándar ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting - terrestre) se origina en Japón por el consorcio ARIB (Assicuation of Radio Industries and Bussines) donde se registra la información referente a las características de codificación de audio, video y datos del sistema de transmisión ISDB-T.[7]

Brasil después de hacer algunas modificaciones al estándar japonés, cambio la compresión MPEG-2 a MPEG-4, se publicó la primera edición de la norma brasileña en 2007, emitiendo la primera señal digital en Sao Paulo.

2.2.3.1. Funcionamiento

Según la norma Brasileña ABNT NBR 156001:2007 contiene el proceso de trasmisión del sistema de televisión digital terrestres ISDB-T que se describe a continuación.

El sistema transmisión tiene una o más entradas de datos TS (Transport Stream – flujo de transporte) con compresión MPEG-4, estas entradas deben ser multiplexadas para crear un único TS. Este TS debe ser sometido a etapas de codificación de canal múltiple y enviado en una única señal OFDM. (figura 4-2) (ABNT NBR 15601,2007)

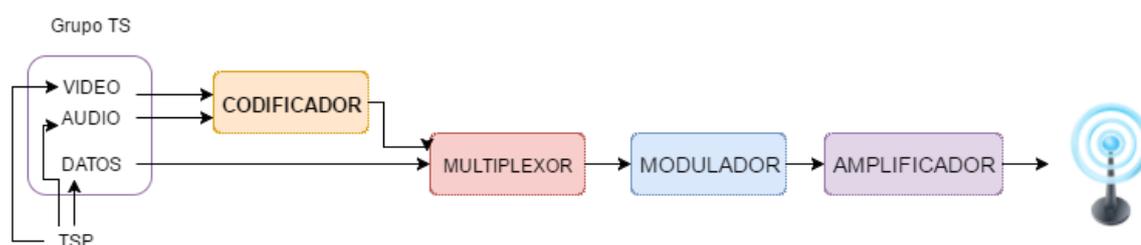


Figura 4-2. Sistema de Transmisión de Televisión Digital

Fuente: ABNT NBR 15601:2007, Televisión digital Terrestre - Sistema de Transmisión.

A la señal de transmisión debe ser aplicada ‘time interleaving’ dentro de la codificación para generar menor tasa de errores en la recepción.

El espectro de radio difusión contiene 13 bloques OFDM donde el catorceavo segmento o la catorceava parte del ancho de banda de 6 MHz no es asignado ya que se usa como banda de guarda este se asigna asimétricamente según las características de interferencia del canal.

La transmisión se permite hasta 3 capas (Layer A, B y C), que a diferencia del estándar DVB-T tiene una capa más, además existen tres modos (Mode 1, 2 y 3) que contienen distintos números de portadoras, en el caso de Brasil la separación de frecuencia debe ser aproximadamente 4kHz, 2 kHz y 1 KHz respectivamente, y cuatro posibilidades de longitud de intervalo de guarda del tiempo de símbolo. Los modos de operación se determinan según la tabla 4-2. (Sotelo,2012)

Tabla 4-2 Modos de Operación OFDM

| MODO | SUBPORTADORA | SEPARACIÓN | Nº TOTAL DE SUBPORTADORAS MODULADAS | DATOS |
|--------|--------------|------------|-------------------------------------|-------|
| Modo 1 | (2k) | 4 KHz | 1405 | 1248 |
| Modo 2 | (4k) | 2 KHz | 2809 | 2496 |
| Modo 3 | (8k) | 1 KHz | 5617 | 4992 |

Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

La norma ISDB-T puede ser ampliamente configurable lo que lo hace un sistema flexible para la transmisión, esta señal del canal de televisión puede ser enviado a recepción fija, recepción móvil y recepción portátil (transmisión Jerárquica). (Sotelo,2012)

2.2.3.2. Características

- Ancho de banda de 6MHz
- Tasa de Velocidad de datos que va desde 3,651 Mbps con modulación DQPSK hasta 23,168 Mbps con modulación 64QAM, para los 13 segmentos considerando variación de intervalo de guarda.
- Compresión para audio y video MPEG2 y MPEG4
- Movilidad y Portabilidad
- Soporta formatos SDTV y HD. (Alvarado,2015)

2.2.3.3. Espectro Radioeléctrico Estándar ISDB-T

La televisión digital utiliza 6MHz igual que la televisión analógica sin embargo la televisión digital con el estándar ISDB-T puede aprovechar el espectro asignado al canal y enviar una programación de alta definición o puede subdividir el ancho de banda para enviar hasta 5 canales estándar de tal manera que la tecnología ISDB-T es flexible ya que puede enviar simultáneamente diferentes definiciones o grado de calidad de señal por el mismo canal, pueden ser las siguientes variaciones: (Palomeque,2015)

- Un programa de alta definición (1080) y un programa estándar (720x480).
- Dos programas de alta definición (720)
- Un programa de alta definición (720) y dos canales de definición estándar.
- Cuatro programas de definición estándar.



Figura 5-2 Uso del Espectro ISDB-T

Fuente: Diseño de la Ingeniería de un Canal TDT basado en el estándar ISDB-T Internacional Para Tv Sultana De Riobamba [15]

El Ancho de banda del canal es de 6Mhz dividido para 14 segmentos da como resultante el ancho del segmento de 428,57 KHz

$$AB \text{ Segmento} = 6MHz/14 = 428,57 \text{ KHz}$$

El catorceavo segmento no es utilizado para brindar protección a interferencia, este segmento está distribuido al inicio y final del canal asignado.

Se dispone de 13 bandas en cada segmento a la izquierda los impares y a la derecha los pares.

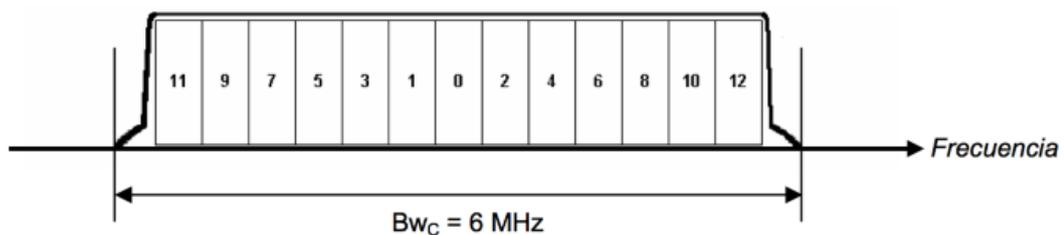


Figura 6-2 Organización de los Segmentos ISDB-T

Fuente: Adriano, E., (2013) [16]

Coexistencia de canales analógicos y canales TDT – ISDB-T

La distribución del espectro de las señales digitales tiene un intervalo de guarda de 6MHz lo que permite introducir gradualmente los canales digitales como se muestra en la figura 7-2; para impedir la interferencia entre la portadora de video y sonido del canal analógico y las múltiples

portadoras del canal digital se puede aplicar mascarar espectrales y/o protección de ratios, a la vez se debe considerar las relaciones de protección de señal deseada vs señal no deseada como se define en el artículo 12 de la resolución ARCOTEL 2015 – Norma Técnica para el Servicio de Radiodifusión de Televisión Abierta Analógica.

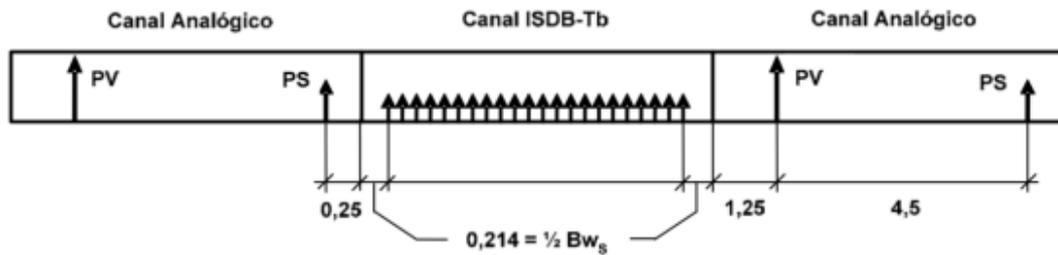


Figura 7-2 Espaciamiento en Frecuencia MHz

Fuente: Adriano, E., (2013) [16]

El valor eficaz de la portadora de la señal de audio y video para evitar interferencia entre las estaciones transmisoras analógicas según la norma técnica de televisión analógica se especifica los datos interferencia co-canal y canal adyacente.

Tabla 5-2 Relación de Protección de señal deseada / Señal no deseada

| RELACIÓN DE PROTECCIÓN PARA LA SEÑAL DE IMAGEN | |
|---|--------|
| <i>Interferencia Co-canal</i> | |
| SEPARACIÓN ENTRE PORTADORAS | SNR |
| Inferior a 1000KHz | 45 dB |
| 1/2 , 2/3, 4/3, o 5/3 de la frecuencia de línea | 28 dB |
| <i>Interferencia de canal adyacente</i> | |
| Interferencia | SNR |
| De canal Inferior | -6 dB |
| De canal Superior | -12 dB |
| RELACIÓN DE PROTECCIÓN PARA LA SEÑAL DE SONIDO | |
| SNR | |
| 28 dB | |

Fuente: Resolución ARCOTEL, Norma Técnica para el Servicio de Radiodifusión de Televisión Abierta Analógica.

De igual forma los criterios según la norma ISDB-Tb para aplicar máscaras de protección de interferencia para la coexistencia entre canales digitales y analógicos se determinan en la tabla 6-2.

Hay que considerar que las interferencias del canal afectan a la señal analógica deformando o atenuando la señal en cambio a la señal digital las perturbaciones son menos críticas, por tanto las medidas de protección son vitales para la coexistencia de los dos canales.

Tabla 6-2 Criterios de aplicación de máscaras de protección

| CLASE DE ESTACIÓN DIGITAL | A, B Y C | | | | ESPECIAL | |
|---|---|------------|-----------|---------|------------|--|
| | Distancia con relación a la estación de canal adyacente instalada en la misma localidad | < 400 m | | > 400 m | | Ausencia de canal adyacente previsto o instalado en la misma localidad |
| Analógica | | Digital | Analógica | Digital | | |
| Tipo de modulación del canal adyacente previsto o instalado en la | Analógica | Digital | Analógica | Digital | No crítica | Crítica |
| Pdigital < Padyacente + 3 dB | Crítica | Subcrítica | Crítica | | | |
| Pdigital > Padyacente + 3 dB | | Crítica | | | | |
| Pdigital = Potencia ERP de la estación digital | | | | | | |
| Padyacente = Potencia ERP de la estación en canal adyacente | | | | | | |

Fuente: ABNT NBR 15601:2007, Televisión digital Terrestre - Sistema de Transmisión.

2.2.4. Sistema de Transmisión

Los datos transmitidos se envían en grupo de TS que contiene múltiples TSP, los cuales deben ser codificados, posteriormente se añade señales piloto al segmento de datos en el cuadro OFDM de 13 segmentos que son convertidos en señales de transmisión OFDM por la IFFT. (ABNT NBR 15601,2007)

Del multiplexor MPEG salen múltiples TS que alimentan el re-multiplexor de transporte para formar TSP los cuales son adecuados para el procesamiento de señal, la remultiplexación contiene los TSP de transmisión que deben tener una longitud de 204 bytes de los cuales 188 bytes son datos del programa y 16 bytes son nulos. Los TS son convertidos en TSP por medio de un reloj con tasa cuatro veces mayor que el reloj de muestreo de la IFFT, y se debe aplicar un código RS para que el TSP se convierta en un TS común [6]. Para la transmisión de los TS se permite múltiples capas jerárquicas en un máximo de 3 capas a través de un canal de 6 MHz. Estas capas contienen bloques paralelos de procesador como: codificador de corrector de errores (Interleaving y bit interleaving) y modulación de portadoras.

Una vez procesados las capas deben ser combinadas y aplicar entrelazamiento de tiempo y frecuencia como método de protección contra la variación de intensidad de campo eléctrico e interferencia. Al paquete se le añade una señal de Control de configuración de transmisión y multiplexación (TMCC siglas en ingles), una señal de programa y una señal piloto de sincronización para completar la formación del cuadro para posteriormente seguir el proceso IFFT y convertirse en señal para transmisión OFDM como se muestra en la figura 8-2. (ABNT NBR 15601,2007)

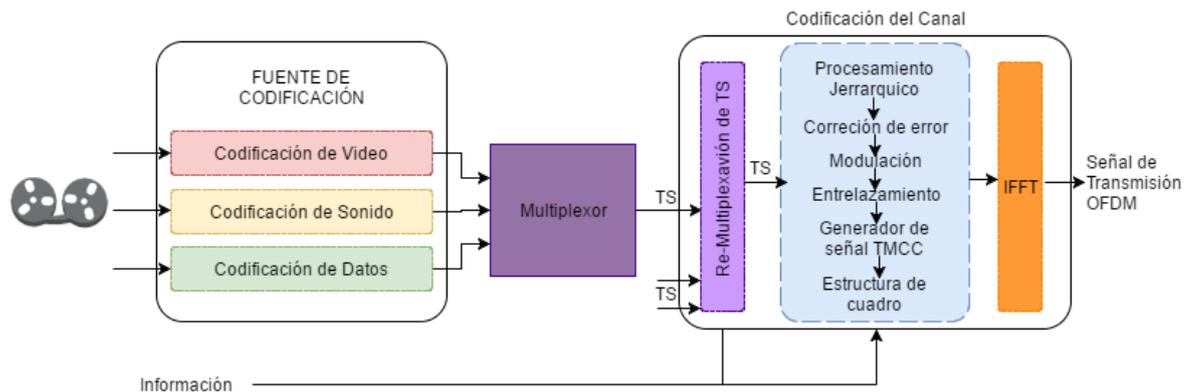


Figura 8-2 Diagrama de Bloques del Sistema de Transmisión

Fuente: ABNT NBR 15601:2007, Televisión digital Terrestre - Sistema de Transmisión.

Los parámetros de configuración están alineados según el estándar ISDBT como describe la norma ABNT NBR 15601 según la siguiente tabla 7-2: El proceso que compone la codificación del sistema de transmisión para el sistema ISDBT está dado por los bloques de la figura 9-2. En el que muestra el tráfico del TS que recorre hasta finalmente empaquetarse en la señal de transmisión OFDM.

Tabla 7-2 Parámetros del sistema de transmisión.

| Parámetros | | Valores |
|------------|----------------------|--|
| 1 | Número de segmentos | 13 |
| 2 | Ancho del segmento | $6.000/14 = 428,57$ kHz |
| 3 | Banda UHF | 5,575 MHz 1 (modo 1) 5,573 MHz 2 (modo 2) 5,572 MHz 3 (modo 3) |
| 4 | Número de portadoras | 1 405 (modo 1) 2.809 (modo 2) 5.617 (modo 3) |
| 5 | Método de modulación | DQPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM |

| | | |
|----|------------------------------------|--|
| 6 | Duración de los símbolos activos | 252 μ s (modo 1) 504 μ s (modo 2) 1.008 μ s (modo 3) |
| 7 | Separación de portadoras | $B_{ws}/108 = 3,968$ kHz (modo 1) $B_{ws}/216 = 1,984$ kHz (modo 2) $B_{ws}/432 = 0,992$ kHz (modo 3) |
| 8 | Duración del intervalo de guarda | 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 de la duración del símbolo activo 63; 31,5; 15,75; 7,875 μ s (modo 1) 126; 63; 31,5; 15,75 μ s (modo 2) 252; 126; 63; 31,5 μ s (modo 3) |
| 9 | Duración total de los símbolos | 315; 283,5; 267,75; 259,875 μ s (modo 1) 628; 565; 533,5; 517,75 μ s (modo 2) 1 260; 1 134; 1 071; 1 039,5 μ s (modo 3) |
| 10 | Duración del cuadro de transmisión | 204 símbolos OFDM |
| 11 | Codificación de canal | Código convolucional, tasa = 1/2 con 64 estados Punzado para las tasas 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 |
| 12 | Entrelazamiento interno | Entrelazamiento intra e inter-segmentos (entrelazamiento en frecuencia) Entrelazamiento convolucional con profundidad de <i>interleaving</i> 0; 380; 760; 1.520 símbolos (modo 1) 0; 190; 380; 760 símbolos (modo 2), 0; 95; 190; 380 símbolos (modo 3) |

Fuente: ABNT NBR 15601:2007, Televisión digital Terrestre - Sistema de Transmisión.

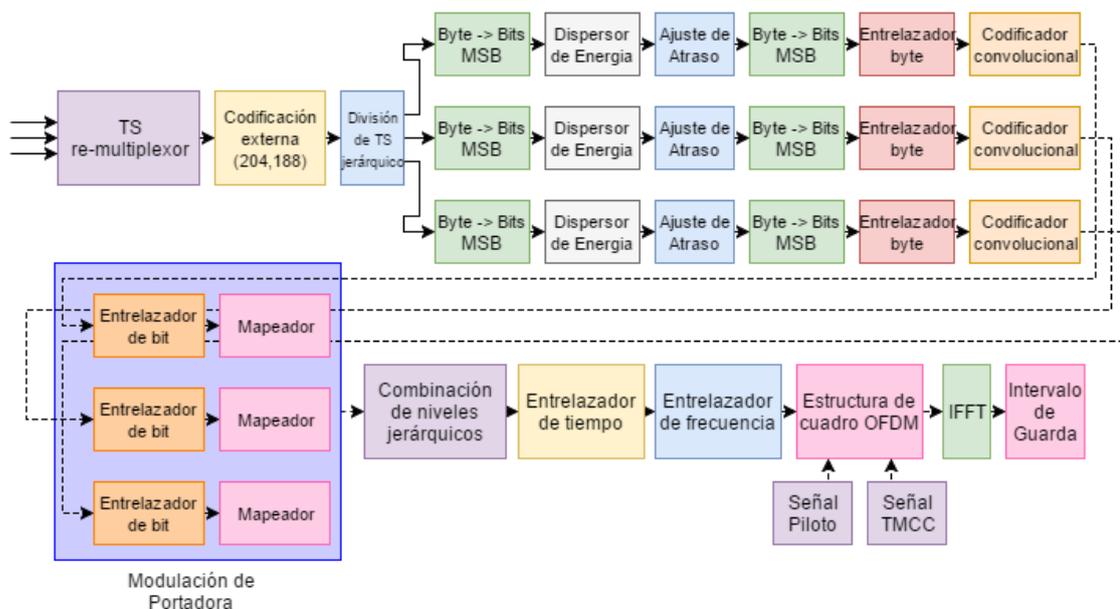


Figura 9-2. Bloques de codificación - Sistema de Transmisión

Fuente: ABNT NBR 15601:2007, Televisión digital Terrestre - Sistema de Transmisión.

Los datos de TS pasan por la re-multiplexación, codificación externa que agrega algunos bytes de seguridad para proteger la información, se divide el TS jerárquico, se aplica los mismos bloques a cada TS como: el byte más significativo, dispersor de energía, ajuste de atraso, entrelazado de byte, codificación convolucional... Y otros hasta componer el paquete que se enviará por el canal.

2.2.4.1. *Re – multiplexador*

En el bloque de re-multiplexación ingresan los datos que componen la señal de video (audio, video y datos) esta entrada de 188bytes se le añade 16 bytes nulos para formar los TSP (Transport Stream Packets) de 204 bytes. (ABNT NBR 15601,2007)

El bloque de re-multiplexación está compuesta por una estructura múltiple (multiplex frame) en el que el tamaño se define por el Modo de transmisión y el intervalo de guarda asignado al sistema de transmisión. (Sotelo,2011)

2.2.4.2. *Codificación Externa (Outer code)*

La codificación externa es un proceso que aplica redundancia a los datos de entrada para agregarle un código de protección contra errores, así en la recepción tiene una secuencia de verificación de datos válidos.

Al paquete de TS se le aplica la codificación cíclica no binaria *Reed Salomon (204,188,T=8)* determinado por 204 bytes con un paquete de entrada de 188 bytes, el código RS se genera agregando 51 bytes (00HEX) al comienzo del paquete de entrada RS (255,339) que luego deben ser removidos.

El paquete TS esta generado por el polinomio primitivo $p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$ para el definir el $GF(2^8)$ (*Galois Field*). [6]

Y también por el código polinomial $g(x) = (x - \lambda^0)(x - \lambda^1)(x - \lambda^2) \dots (x - \lambda^{15})$ siendo $\lambda = 02HEX$. El código RS puede corregir hasta 8 bytes erróneos de 204 bytes recibidos.

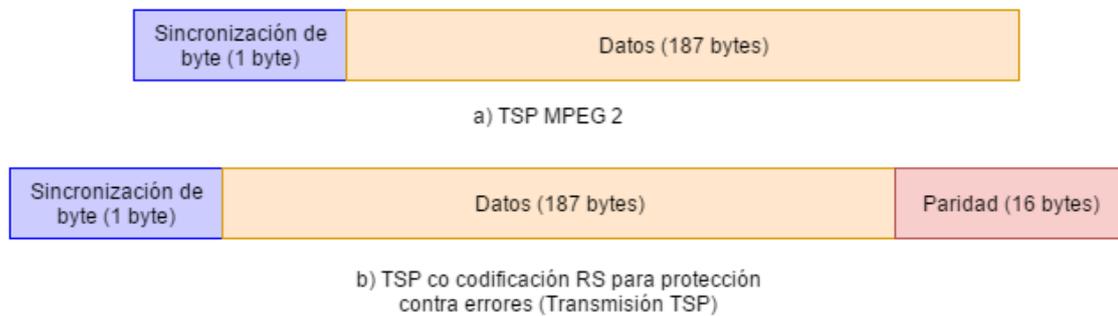


Figura 10-2. a) TSP -MPEG2, b) Transmisión TSP

Fuente: ABNT NBR 15601:2007, Televisión digital Terrestre - Sistema de Transmisión.

2.2.4.3. División Capa Jerárquica

El bloque de división jerárquica divide el TS re-multiplexado en porciones iguales de 204 bytes que va desde el byte de sincronización hasta antes del próximo byte de sincronización y a la vez se eliminan los paquetes nulos, cada porción es asociada a una capa jerárquica tomando en cuenta que para la norma ISDBT el número máximo de capas es igual a 3. (ABNT NBR 15601,2007)

2.2.4.4. Dispersor de Energía

Los bits de salida de cada capa jerárquica se les aplica el polinomio PRBS (Pseudo Random Bit Sequence) $G(x) = x^{15} + x^{14} + 1$ con el fin de dispersar la energía en la fuente MPEG2-TS, este bloque realiza un *Exclusive OR*, de los datos reales con los datos de salida del polinomio PRBS, el dispersor de energía crea MUX frame compuestos de 8 paquetes mux de 188 bytes. El bloque asigna sincronización reemplazando el byte de sincronización 0x47 por 0xb8 al principio del mux. (Bogdan,2013)

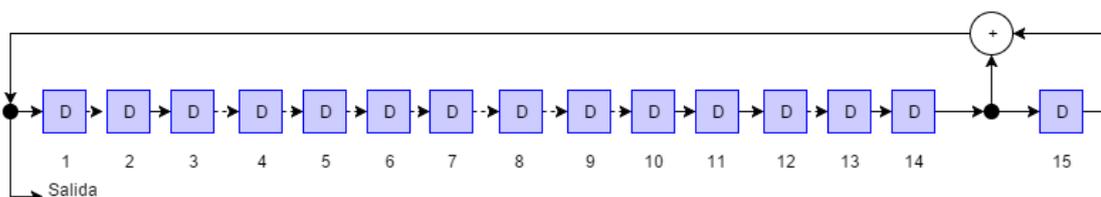


Figura 11-2. Polinomio PRBS

Fuente: ABNT NBR 15601:2007, Televisión digital Terrestre - Sistema de Transmisión.

2.2.4.5. Ajuste de Atraso

El ajuste de atraso se aplica obligatoriamente en la transmisión, se asigna el valor de ajuste apropiado para cada capa jerárquica según la tabla 8-2, este tiempo de atraso debe ser idéntico en la transmisión y recepción y está asociado al byte interleaving.

Tabla 8-2: Valor de Atraso (*N* representa el número de segmentos usados por la capa jerárquica.)

| Modulación de portadora | Código Convolutacional | Valor de ajuste del atraso (número de transmisión de TSP) | | |
|-------------------------|------------------------|---|------------|------------|
| | | Modo 1 | Modo 2 | Modo 3 |
| DQPSK QPSK | 1/2 | 12 x N-11 | 24 x N-11 | 48 x N-11 |
| | 2/3 | 16 x N-11 | 32 x N-11 | 64 x N-11 |
| | 3/4 | 18 x N-11 | 36 x N-11 | 72 x N-11 |
| | 5/6 | 20 x N-11 | 40 x N-11 | 80 x N-11 |
| | 7/8 | 21 x N-11 | 42 x N-11 | 84 x N-11 |
| 16QAM | 1/2 | 24 x N-11 | 48 x N-11 | 96 x N-11 |
| | 2/3 | 32 x N-11 | 64 x N-11 | 128 x N-11 |
| | 3/4 | 36 x N-11 | 72 x N-11 | 144 x N-11 |
| | 5/6 | 40 x N-11 | 80 x N-11 | 160 x N-11 |
| | 7/8 | 42 x N-11 | 84 x N-11 | 168 x N-11 |
| 64QAM | 1/2 | 36 x N-11 | 72 x N-11 | 144 x N-11 |
| | 2/3 | 48 x N-11 | 96 x N-11 | 192 x N-11 |
| | 3/4 | 54 x N-11 | 108 x N-11 | 216 x N-11 |
| | 5/6 | 60 x N-11 | 120 x N-11 | 240 x N-11 |
| | 7/8 | 63 x N-11 | 126 x N-11 | 252 x N-11 |

Fuente: ABNT NBR 15601:2007, Televisión digital Terrestre - Sistema de Transmisión.

2.2.4.6. *Byte Interleaving*

Este proceso de entrelazado de byte se utiliza como medida para minimizar los efectos de los bloques de error causados por desvanecimiento selectivo o ruido de ráfaga, este proceso es un entrelazado convolutacional que protege la transmisión TSP con 204 bytes.

El entrelazado tiene un tamaño de 12 bytes en el que el byte previo al byte de sincronización no debe tener atraso.

2.2.4.7. *Codificación Interna*

Es un código convolutacional definido por el código-madre $G1 = 171_{OCT}$ Y $G2 = 133_{OCT}$ de profundidad $k=7$ y tasa de codificación igual a $1/2$. Este proceso igual que la codificación externa añade símbolos a los datos de entrada para mejorar redundancia, la salida del bloque se forma por la multiplexación de dos salidas X y Y.

2.2.4.8. Modulación de Portadora

El siguiente paso es la modulación de portadora en el que a la señal de entrada se aplica entrelazado de bit y mapeo dependiendo de la modulación asignada a cada capa jerárquica.

En el proceso de modulación también existe un bloque de ajuste de retraso para continuar con el *bit interleaving* y *el mapping* como muestra la figura 12-2.

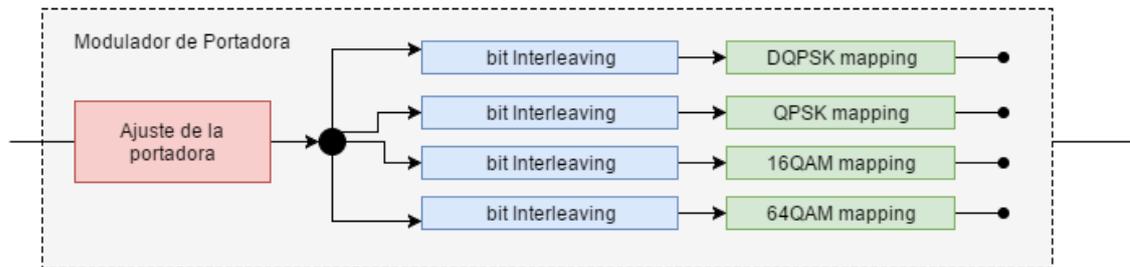


Figura 12-2. Modulador de Portador

Fuente: ABNT NBR 15601:2007, Televisión digital Terrestre - Sistema de Transmisión.

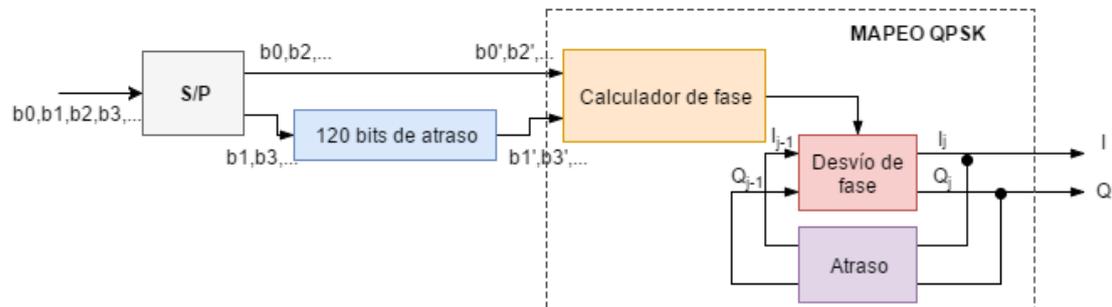


Figura 13-2 Modulador DQPSK

Fuente: ABNT NBR 15601:2007, Televisión digital Terrestre - Sistema de Transmisión.

a) DQPSK

Para la modulación DQPSK tiene una entrada de símbolo de 2 bits y mapeada con DQPSK a la cual se aplica un desplazamiento de $\pi/4$ para una salida de datos multibit I, Q. Para realizar el mapeo se le añade 120 bits de retraso a la entrada del calculador de fase.

b) 16QAM

Para la modulación 16QAM tiene una entrada de símbolo de 4 bits y mapeada a una salida de datos multibit I, Q. Para realizar el mapeo se añade el atraso a las entradas b1 y b3 en el bit interleaving.

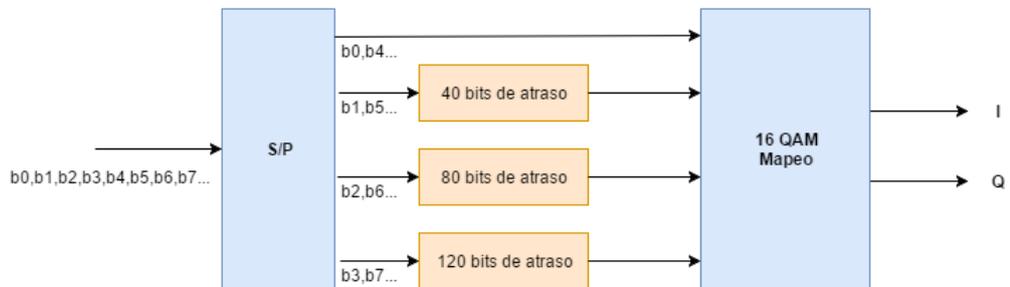


Figura 14-2 Modulación 16QAM

Fuente: ABNT NBR 15601:2007, Televisión digital Terrestre - Sistema de Transmisión.

c) 64QAM

Para la modulación 64QAM tiene una entrada de símbolo de 6 bits y mapeada a una salida de datos multibit I, Q. Para realizar el mapeo se añade el atraso a las entradas b1 y b5 en el bit interleaving. Figura 15-2.

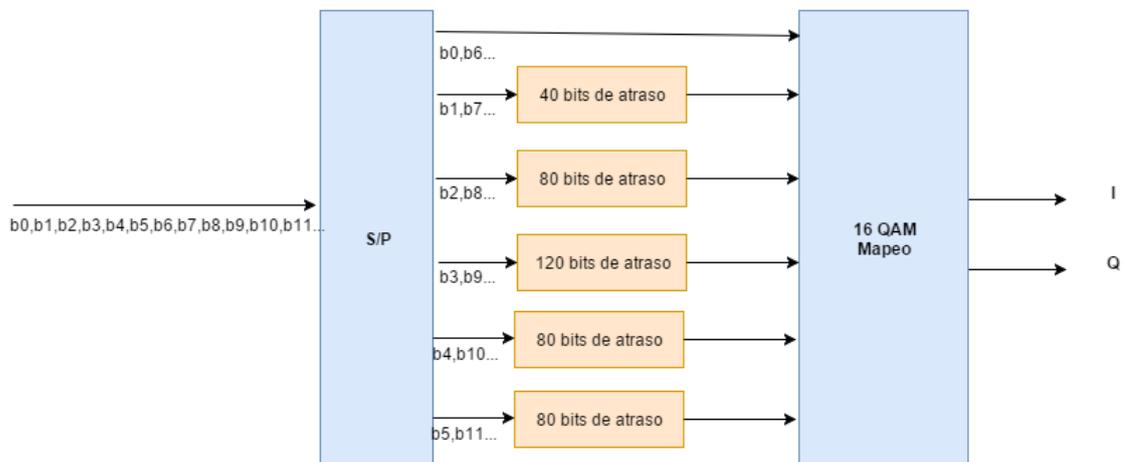


Figura 15-2 Modulación 64QAM

Fuente: ABNT NBR 15601:2007, Televisión digital Terrestre - Sistema de Transmisión.

2.2.4.9. Equipos de Transmisión de Televisión ISDB-T

Para que el proceso de transmisión de una señal de televisión se genere correctamente debe tener un proceso de producción y difusión, en un canal de televisión dispone de los siguientes equipos para generar la señal de televisión digital.

ETAPA DE PRODUCCIÓN:

En esta etapa existen varios departamentos como:

Control Master que es el centro técnico de monitoreo y control de la señal de televisión, *Post Producción* y *Producción en vivo* encargados de generar el contenido de la señal y edición de video, *Sala de sonido* quienes se encargan de la producción de sonido, *Estudio* donde se colocan todos los equipos requeridos para la emisión de programas, *Control de Video* departamento encargado del control de las características de video, *Cuarto de Servidores* donde se encuentran los equipos de conexión local del canal de televisión, como moduladores, transmisores, decodificadores, servidores de audio y video.

ETAPA DE TRANSMISIÓN O DIFUSIÓN DE LA SEÑAL:

La difusión de la señal de televisión digital requiere de repetidoras terrestres situadas en puntos estratégicos para cubrir la mayor zona poblada posible sin degradar la señal.

La difusión de la señal requiere de: Enlaces microondas estudio – transmisor – repetidoras, Enlaces microondas, Antenas, Estaciones Transmisoras, Sistema radiante. Los equipos de transmisión requeridos para esta etapa se numeran a continuación:

- Multiplexor
- Codificador MPGE4
- EPG Insert OMB
- Modulador
- Transmisor Isdb-tb
- Antena UHF
- Antena Parabólica
- Equipo microondas

En la tabla 9-2 se describe los equipos requeridos para la etapa de producción de televisión, y en la tabla 10-2 nos muestra algunas características de los equipos de transmisión de televisión digital.

Tabla 9-2 Equipos Etapa de Producción de TV

| DEPARTAMENTO | EQUIPOS |
|-----------------------------|---|
| Control Master | Monitor Switcher Máster Generador de Caracteres Corrector de base |
| Producción y Pos producción | Switcher de producción en vivo Datavideo Monitor Generador de caracteres Teleprompter Corrector de base de tiempos Grabador Digital |
| Sonido | Consola Ecuilizador Amplificador |
| Estudio | Micrófonos Inalámbricos Micrófonos Clip Micrófono Boom Cámaras Iluminación Monitores |
| Control de Video | Test Monitor Monitor de forma de onda Sistema multivista |
| Cuarto de Servidores | Servidor Audio Streaming Servidor video Streaming Back ups de energía Servidor Firewall Routers Cisco Switch Access Point Patch Panel Racks Servidor Backup de datos Software para Backup de datos Ordenadores de escritorio |

Fuente: Estudio Técnico y Económico para la Implementación Práctica de un canal de Televisión Digital Terrestre con El Estándar ISDB-T Internacional en el Ecuador [14]

Tabla 10-2 Características de Equipos para Tx de TDT - ISDB-T

| EQUIPO | CARACTERÍSTICAS | EQUIPO 1 | EQUIPO 2 |
|----------------------------|-----------------------------------|---|---|
| CODIFICADOR H.264 (MPEG 4) | Nombre | CODER MPEG-4 HD IRIDIUM | DVB-S & S2 MPEG-2 y MPEG-4(AVC) Simultáneo |
| | Precio | 3000 | 2500 |
| | Video Inputs | SDI-HD / SD | SDI-HD / SD |
| | Muestreo Audio embebido | Rangos 32kHz, 44.1kHz, 48 kHz, 16 kHz, 22.05 k kHz, 24 kHz, SI | NO NO |
| EPGININSERT | Nombre | OMB EPG INSERT | EPG INSERT ELECTRONICA GROUP |
| | Precio | 4000 | 5000 |
| | Rango de temperatura de Operación | 0 a 40 ^o C | 0 a 45 ^o C |
| | Alimentación | 110 – 240 VAC | 90 – 250 VAC |
| | Peso | 1.3 kg | 4 kg |
| GINGA | Nombre | EITV MIDDLEWARE | |
| | Precio | 10 000 | |

| | | | |
|--------------------------------------|--|---|-----------------------------|
| | Compatible | Diversidad de equipos receptores | |
| | Compatibilidad con las normas técnicas publicadas por ABNT | Si | |
| MODULADOR ISDBT – B | Nombre | Modulador UBS DVU-5000 - Modulador Universal ISDB-T | OBM MOD ISDBT |
| | Precio | 12000 | 14500 |
| | Salida de RF | 500 MHz – 1MHz | 500 MHz – 1MHz |
| | Modo de transmisión | SFN – MNF | SFN – MNF |
| | Pre-corrección lineal y no Lineal | Si | No |
| MULTIPLEXOR | Nombre | EITV Playout profesional | ISMUX DIGITAL TRANSMISION |
| | Precio | 5000 | 4200 |
| | Soporta Ginga | SI | SI |
| | Entradas | 8 ASI | 8 DVB – ASI |
| | Multiplexación en tiempo Real | SI | NO |
| TRANSMISOR | Nombre | ISDB-Tb MierSerie Summit | LoISDB-Tb MierSerie Summit |
| | Precio | 23450 | 20500 |
| | Flexibilidad | Configuraciones Redundantes | Configuraciones Redundantes |
| | Aplicación | Transmisor o GapFiller | Transmisor |
| | Configurable | 2W -1200W | 10W – 100W |
| MICROONDA ENLACE Y ANTENA PARABÓLICA | Nombre | LINEARIST7G50P5 LINEARISR7G5000 PL4-65 | MICROWAVE LINK |
| | Precio | 2400 | 14 00 |
| | estabilidad de frecuencia | 30 | 25 |
| | Potencia | 0,5 W | 0,5 W |
| SISTEMA RADIANTE ANATENAS UHF | Nombre | Novus Patch panel UHF 1 piso 3 paneles | JL-SS JAMPRO |
| | Precio | 4500 | 4000 |
| | Tipo | Panel | Slot |
| | Potencia Máxima | Según configuración | 1.43 kW |
| | Ganancia | 10 Db | 8.47 dB |
| | Garantía | 1 año | 1 año |

Fuente: Estudio Técnico y Económico para la Implementación Práctica de un canal de Televisión Digital Terrestre con El Estándar ISDB-T Internacional en el Ecuador [14]

2.2.5. Estándar ISDB-T vs DVB-T

Según varios estudios los estándares de televisión digital ISDB-T vs DVB-T son muy parecidas sin embargo una es mejor y es ISDB-T debido al **time interleaving** que le da mejor robustez frente a la interferencia del ruido de impulso. (Digital Broadcasting Experts Group,2017)

En la tabla 11-2 se muestran las características de transmisión de los sistemas ISDB-T y DVB-T donde se observa lo semejante que son estos dos estándares.

Tabla 11-2. Características ISDB-T vs DVB-T

| SISTEMA | DVB-T | ISDB-T |
|-------------------------------|---|---|
| Fuente De Datos | | |
| Video | ISO/IEC I3818-2 (MPEG -2 - video) | |
| Audio | ISO/IEC I3818-2 (MPEG -2 - Layer II audio) | ISO/IEC I3818-7 (MPEG -2 - AAC audio) |
| Transport Stream | ISO/IEC I3818-1 (MPEG -2 TS) transport stream | |
| Sistema De Transmisión | | |
| Canal De Codificación | | |
| Codificación Externa | R-S (204, 188, T=8) | |
| Entrelazado Externo | 12 R-S block interleaver | |
| Codificación Interna | Código convolucional: Rate: 1/2, 2/3, 5/6, 7/8 longitud de restricción: 7, polinomio(octal)=171,133 | |
| Entrelazado Interno | Bit interleaving y frequency interleaving | Bit interleaving, frequency interleaving y time interleaving selectivo |
| Entrelazado De Datos | 16-bit PRBS | |
| Modulación | COFDM QPSK, 16QAM y 64QAM, modulación jerárquica multi-resolucion. Intervalo de guarda: 1/32, 1/16, 1/8 y 1/4 de SIMBOLO OFDM, 2 modos: 2k y 8k FFT | BST-OFDM con 13 segmentos QPSK, 16QAM y 64QAM, modulación jerárquica: se puede aplicar diferente modulación para cada segmento Intervalo de guarda: 1/32, 1/16, 1/8 y 1/4 de SIMBOLO OFDM, 3 modos: 2k, 4k y 8k FFT |

Fuente: Comparison of terrestrial DTV transmission systems: the ATSC 8-VSB, the DVB-t COFDM [11]

En base a los resultados de la comparación de los sistemas DTTB, según DiBEG [10], ISDB-T y DVB-T tienen la misma robustez contra interferencias multi-ruta, sin embargo, ISDB-T tiene la ventaja de poseer robustez frente al ruido de impulso. De la misma forma ambos estándares operan según la frecuencia única de red de área amplia (SFN), ISDB-T posee mayor movilidad y portabilidad además de transmisión jerárquica a comparación de DVB-T que tiene una función de transmisión jerárquica, pero con un menor rendimiento de recepción. Por tanto DVB-T e ISDB-T son casi lo mismo bajo la condición de múltiples estáticos, sin embargo ISDB-T es superior en condición de múltiples dinámicos gracias al entrelazado de tiempo. (Digital Broadcasting Experts Group,2017)

2.2.6. Radio Definido por Software

El término Radio definido por software (Software Radio) se lo utilizó por primera vez por Joe Milota en 1991 para describir los sistemas de radio comunicaciones reconfigurables sin depender del hardware que lo contiene. El sistema de Radio definido por software comprende una parte de hardware y otra parte software donde realiza todos los procesos de digitalización a la señal y luego enviarla por la antena, el proceso digital que se realiza mediante software se denomina DSP

(Digital Signal Processor) y la lógica programable FPGA (Field Programmable Gate Array). [4], en la figura 16-2 muestra la diferencia de un sistema de comunicaciones basado en software versus uno convencional.

Radio definido por software además es flexible ya que soporta diferentes estándares de comunicación a distintas bandas de Radio frecuencia, lo que permite adaptabilidad e interoperabilidad entre varios sistemas. Además se caracteriza por tener el código de análisis de la señal lo más cerca posible a la antena para poder transmitir la onda y luego ser de modulada por software.

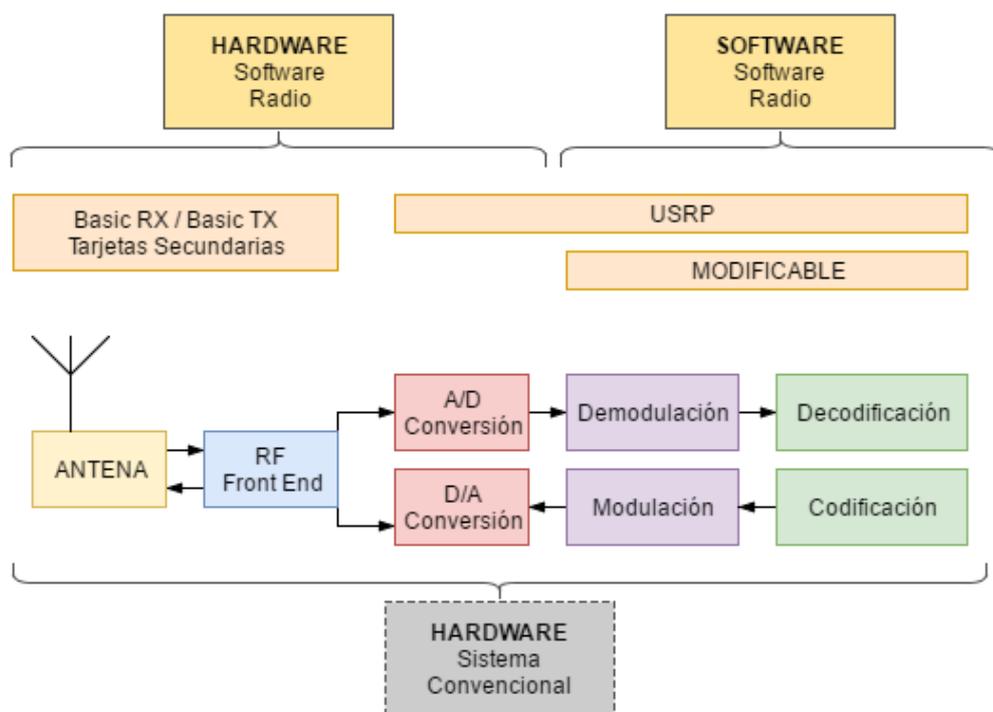


Figura 16-2 Sistema de Comunicación Convencional vs Software Radio
 Fuente: Chavez, J., (2005). Software Radio y el USRP, Universidad de las Américas, Puebla.

Existen diversas arquitecturas de software que permiten desarrollar sistemas de comunicación, la herramienta más común es a través del software de Arquitectura de Comunicaciones (SCA siglas en ingles), otras herramientas de desarrollo para SDR son aplicaciones que permiten utilizar interfaz gráfica como Simulink, LabView; o la herramienta usada para esta tesis GNU Radio Companion (GRC) el cual trabaja con diagramas de flujo que generan el trabajo de digitalización de la señal y enviar a la antena usando hardware con la tarjeta ‘Universal Software Radio Peripheral’ (USRP). (Maciel,2015)

La tarjeta USRP es un hardware que puede funcionar como transmisor y receptor que conjuntamente con la PC permite la generación de prototipos inalámbricos.

2.2.6.1. *Software*

En el Radio definido por software como previamente mencionamos se realiza el proceso de la señal hasta enviarla al canal por medio software, aquí se realiza una breve descripción de las herramientas que más comúnmente se usa para DSP.

a) Matlab – Simulink

Matlab es una herramienta de ingeniería que permite realizar programas de cálculo matemáticos para cualquier aplicación entre ellas las telecomunicaciones. Simulink es una aplicación gráfica de simulación que usa bloques para desarrollar programas de procesamiento de datos en base a funciones de Matlab.

b) LabView

LabView otra herramienta de programación con interfaz gráfica nativa, la cual permite la integración de cualquier dispositivo con el programa elaborado para diferentes requerimientos de desarrollo de datos. Es flexible para operar con código .Net, ANSI o Python, integra las matemáticas con el entorno gráfico para crear programas de control y herramientas de simulación y modelado.

c) GNU Radio

Gnu Radio es una herramienta de código libre y abierto a diferencia de las anteriores, es decir tiene licencia General Public License (GPL), este software está destinado principalmente al desarrollo de herramientas de radio basado en software utilizando bloques, no es una herramienta de simulación es decir que GNU Radio implementa el desarrollo de algoritmo de análisis de señales en base a datos generados previamente evitando el uso de hardware de radio frecuencia. Este software utiliza el lenguaje de programación Python y el procesamiento en base a C++ Usando extensiones de punto flotante.

Para desarrollar un programa de GNU Radio requiere de un conjunto de elementos llamados bloques que se unen para producir el flujo de datos, la mayoría de los bloques tienen puerto de

entrada y de salida, el número de estos depende del procesamiento de los datos, otros bloques tienen solo puerto de entrada que son la fuente de datos y otros que solo tienen puerto de salida que es la muestra del resultado del procesamiento casi siempre en una gráfica.

2.2.6.2. Hardware

a) USRP

La tarjeta USRP o Universal Software Radio Peripheral en inglés es un periférico de entrada o salida que trabaja en conjunto con la lógica de programación FPGA para desarrollar sistemas de radio basado en software. Este equipo para el sistema de comunicaciones de radio lleva la señal de banda base de radio frecuencia por medio de la señal de frecuencia intermedia y viceversa. (Figura 17-2)

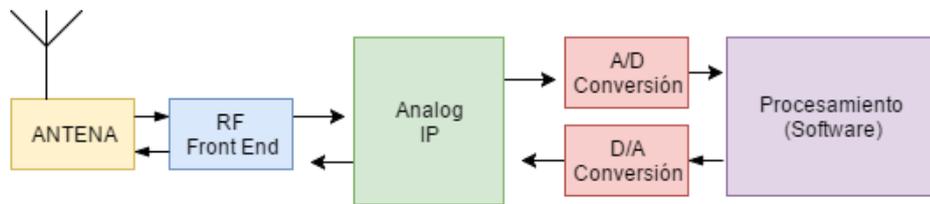


Figura 17-2 Bloques del sistema de Comunicaciones de Software Radio

Fuente: Chavez, J., (2005). Software Radio y el USRP, Universidad de las Américas, Puebla.

En la figura 17-2 nos muestra la disposición de bloques de la USRP, como están distribuidos el procesador, los convertidores y la interfaz USB. (Chavez,2015)

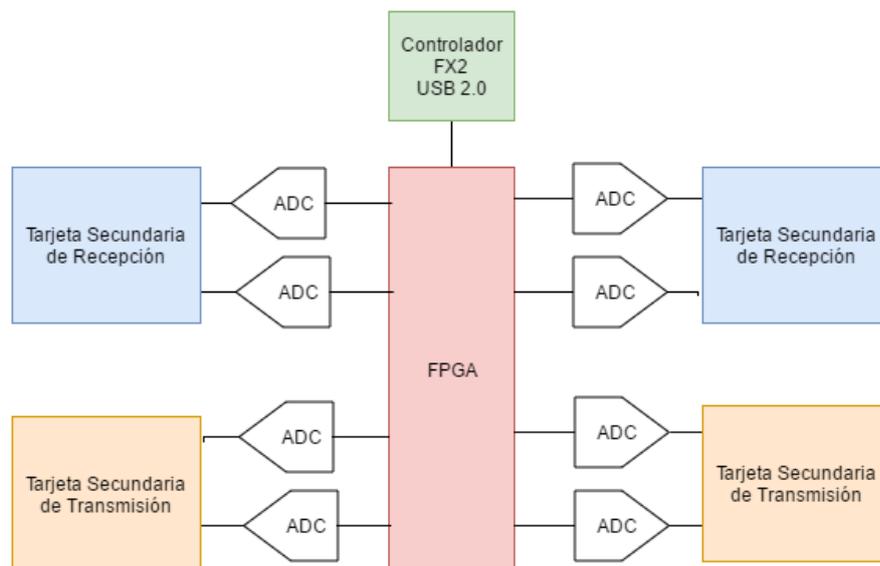


Figura 18-2 Diagrama de Bloques USRP

Fuente: Chavez, J., (2005). Software Radio y el USRP, Universidad de las Américas, Puebla.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación aplicada a la implementación es experimental en el cual se recolecta la información sobre las pruebas realizadas en el prototipo del equipo transmisor ISDB-T, bajo la manipulación de variables para determinar su efecto sobre el video recibido.

Se presenta el proceso ejecutado para la implementación del sistema de transmisión de televisión digital conjuntamente con las herramientas usadas bajo el concepto de radio definido por software, es decir una parte software y otra parte hardware.

3.1. Modelamiento del Sistema

El sistema de transmisión está compuesto por una etapa de procesamiento el cual es ejecutado por el computador, la siguiente etapa de transmisión la realiza la tarjeta USRP para luego ser enviada al medio; en complemento el sistema de recepción cuenta con las mismas etapas pero en sentido contrario es decir recepción de la señal y luego convertirla a su versión original.



Figura 1-3 Modelamiento del Sistema

Realizado por: María Elizabeth Guaño, 2017

3.1.1. Sistema de Transmisión

El procesamiento de la señal de transmisión se realiza en un computador portátil que tiene como recursos un procesador INTEL CORE i7 de 4 CPU con 2.8 GHz, una memoria RAM de 4G y con una tarjeta de video NVIDIA de 2G

Dentro del computador con sistema operativo Linux – Fedora 23 de 64GB se encuentra el software de procesamiento que es GNURADIO Companion versión v3.7.10.1-160 – gefea6826.

De igual forma el receptor alojado dentro de un servidor virtualizado contiene Linux Fedora 23 con GNURADIO COMPANION. En el programa de transmisión en GNURADIO, los datos de video pasan por las etapas de codificación, entrelazado, mapeo, modulación de los datos según la constelación deseada y posteriormente se agrega los parámetros USRP como la frecuencia de trabajo y ganancia de la antena.

La imagen de la figura 2-3 se muestra el proceso que realiza el programa de transmisión implementado, sustentado en las bases teóricas en el punto 2.2.4 de Sistema de Transmisión de TDT.

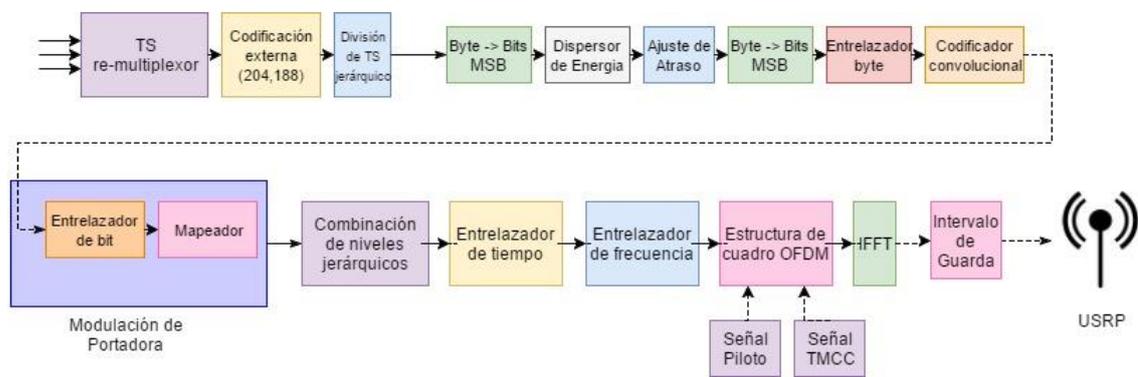


Figura 2-3 Diagrama de bloques Transmisor del Sistema

Realizado por: María Elizabeth Guaño, 2017

El receptor por su parte realiza el proceso contrario para obtener el video transmitido, por tanto recibe la señal de la tarjeta USRP con la frecuencia definida, se asigna una ganancia a la antena la cual puede variar para obtener una mejor señal, luego se aplica la demodulación, y el de-mapeador para interpretar la información con respecto a su constelación, posteriormente el de-entrelazado que ordena los símbolos y la decodificación para llegar finalmente al archivo de video recibido. (figura 3-3)

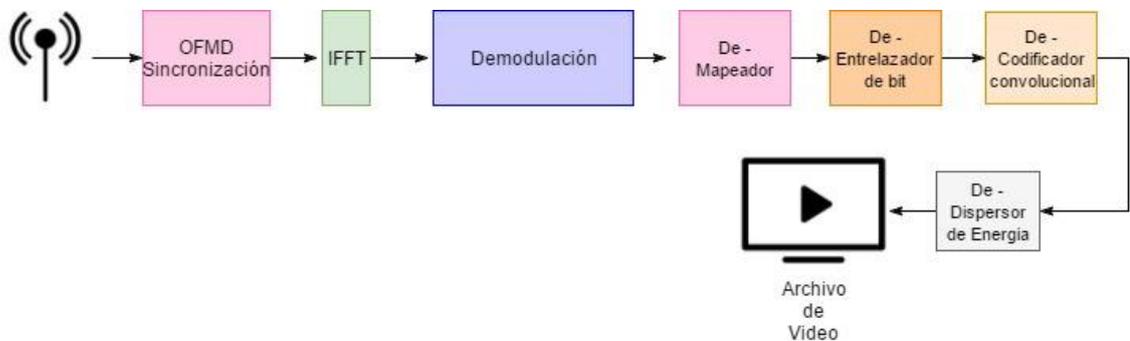


Figura 3-3 Diagrama de bloques Receptor del Sistema

Realizado por: María Elizabeth Guaño, 2017

Después del tratamiento de los datos en la herramienta de software se envía al medio a través del periférico de salida la tarjeta USRP B210 SDR de la marca ETTUS Research conectada al PC por el puerto USB 3.0. (figura 4-3)



Figura 4-3 Tarjeta USRP
Realizado por: María Elizabeth Guaño, 2017.

La tarjeta trabaja como un transceptor de doble canal (70MHz – 6MHz) que tiene 4 antenas MIMO: 2 Tx/Rx y 2 Rx opera con un ancho de banda 56MHZ.

Contiene una placa con diferentes conectores, en la parte superior tiene dos canales A y B con sus respectivos canales de transmisión y recepción Tx/Rx y Rx2, en la parte inferior se encuentra la antena de GPS como dispositivo de sincronización interna del reloj, y el conector USB 3.0; las antenas tienen controles individuales de ganancia analógica, la antena de recepción tiene 73 dB de ganancia disponible, mientras que la antena de recepción tiene una ganancia disponible de 89.5 dB. La tarjeta tiene indicadores LED junto a cada canal que nos muestra el estado en el que está trabajando cada canal, para lo cual en la siguiente tabla 1-3 se describe el funcionamiento.

Tabla 1-3 Identificación de indicadores LED - USRP

| IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES | DESCRIPCIÓN | DETALLES |
|-------------------------------|------------------------|--|
| LED PWR | Indicador de encendido | Apagado = ninguna energía aplicada En = potencia aplicada (USB) |
| TRX LED | Actividad Tx / Rx | Apagado = ninguna actividad Verde = recibir Rojo = transmitir Naranja = conmutación entre tx / rx |
| RX2 LED | Actividad Rx2 | Apagado = ninguna actividad Verde = receptor |
| S0 LED | Bloqueo de referencia | Apagado = ninguna actividad Verde = bloqueado |
| S1 LED | Referencia Actual | Apagado = nivel de referencia de baja Verde = alto nivel de referencia |

Fuente: http://files.ettus.com/manual/page_usrp_b200.html

La antena usada en este proyecto es la VERT400 (ver figura 5 -3) tri-banda de antena vertical omni-direccional de 17 cm con conector SMA, puede trabajar en la gama de: 118 a 160MHz, de 250 a 290 MHz, de 360 a 390 MHz, 420 – 470 MHz, 820 a 960 MHz, y de 1260 a 1300 MHz.



Figura 5-3 Antena VERT400

Fuente: <https://www.ettus.com/product/details/VERT400>

La antena aplicada a la implementación tiene características de ganancia según la tabla 2-3.

Tabla 2-3 Ganancia Antena VERT400

| FRECUENCIA (MHz) | GANANCIA (dBi) | ONDA |
|------------------|----------------|------|
| 146 | 0 | 1/4 |
| 446 | 0 | 1/4 |
| 1200 | 3.4 | 5/8 |

Fuente: <https://www.ettus.com/product/details/VERT400>

3.2. Escenario de Simulación

El sistema diseñado se ha implementado tomando los siguientes parámetros: La frecuencia usada es de 500MHz asignada al canal 19 para migración de televisión digital como se menciona en la sección 2.2.1 de los rangos de frecuencia de la televisión analógica. El archivo de video aplicado es extensión .ts (Transport Stream), formato usado para transmitir video de televisión de alta definición, especificado dentro del estándar MPEG-4.



Figura 6-3 Escenario de simulación
Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

3.2.1. Transmisor

El escenario de implementación se realizó en el Data center de la ESPOCH ya que el transmisor está ubicado dentro de la infraestructura de virtualización y para que la comunicación sea de mejor calidad se conecta un adaptador USB al servidor blade y el otro extremo a la tarjeta USRP.

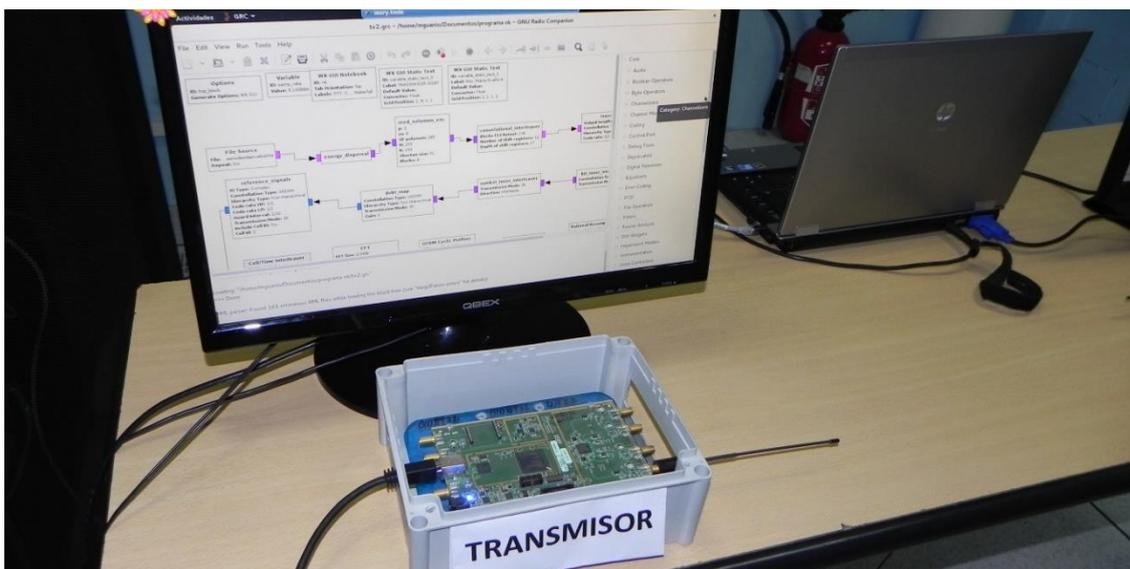


Figura 7-3 Transmisor TDT
Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

Programa de transmisión:

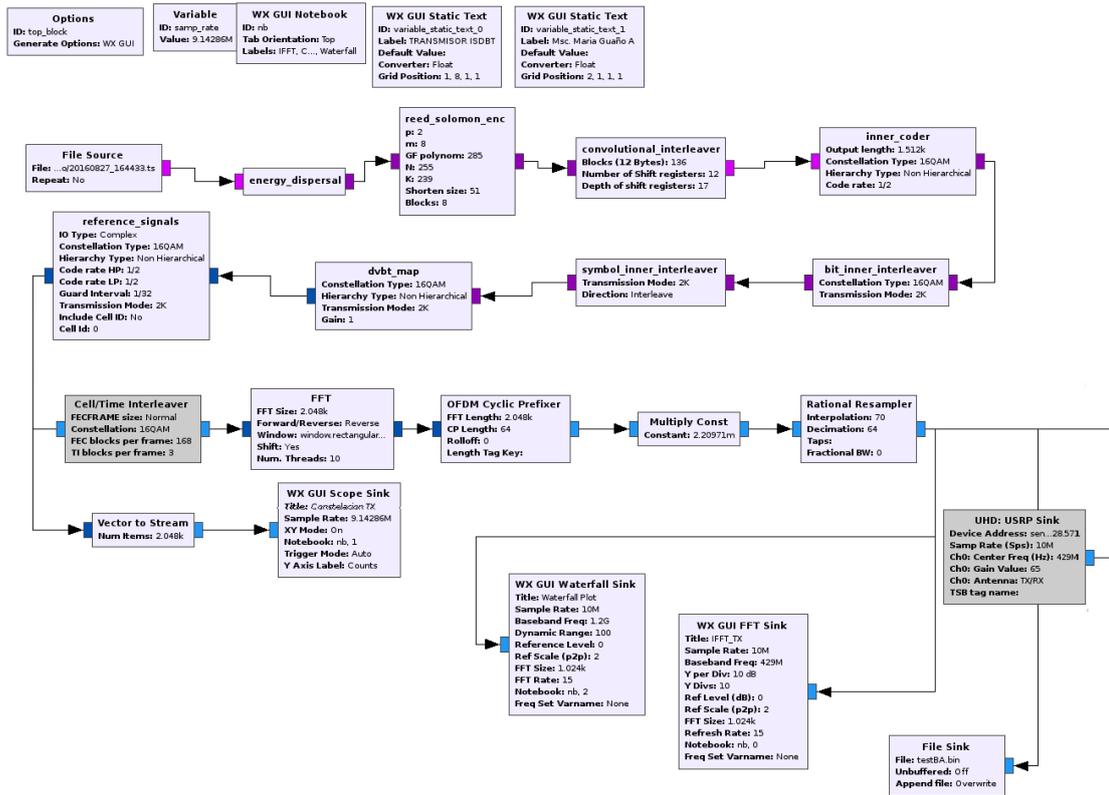


Figura 8-3 Programa de Transmisión de video

Realizado por: Maria Elizabeth Guaña, 2017

Los bloques usados en GNURADIO para el programa de transmisión son:

- Energy_dispersal* Este bloque realiza la dispersión de energía de la fuente .TS con soporte MPEG2.
- Red_Salomon_enc* Este bloque de codificación externa que aplica código RS abreviado (204,188).
- Convolutional_interleaver* Para agregar seguridad al paquete se agrega entrelazado a la codificación convolucional.
- Inner_coder* Codificación convolucional interna con profundidad de k7 y una tasa de 1/2.
- Symbol_inner_interleaver* Este bloque se aplica para el entrelazado interno de símbolo y de bit, prepara para el bloque de mapeo.
- Map* Asigna los bits a la constelación dependiendo de la codificación y la modulación.
- Reference_signals* Le añade sincronización a la señal como TPS –Parámetros de señalización de la señal, para evitar desfase en la recepción.

| | |
|-----------------------------|--|
| <i>FFT</i> | Aplica la IFFT es decir la inversa de la FFT para convertirla en dominio del tiempo. |
| <i>OFDM-Cyclic_Prefixer</i> | Este bloque protege a los datos del ruido de señal y de canal agregando una copia de la última parte del paquete de dominio del tiempo al inicio de la señal, para agregar sincronización. |
| <i>Rational_resampler</i> | Se utiliza para ajustar las muestras del paquete al reloj de la tarjeta USRP. |

3.2.2. Receptor

El receptor está compuesto por la PC portátil conectada a la tarjeta USRP a través del cable USB (figura 9-3). En el transmisor esta un archivo .ts el cual es enviado por la antena del transmisor después de haber pasado por todo el proceso de modulación, luego llega al receptor donde es demodulado para obtener nuevamente el archivo .ts.



Figura 9-3 Receptor TDT
 Realizado por: María Elizabeth Guaño, 2017

3.3. Pruebas

Para las pruebas se aplicó variaciones de los siguientes parámetros, con un modo de transmisión 2k.

- Modulación entre 16QAM, QPSK y 64QAM.
- Codificación 1/2, 2/3, 3/4.

Para calcular el rendimiento se ha tomado en cuenta que el CPU sin carga es de 3.8% y la memoria RAM disponible es de 4GB, usando el comando TOP como se muestra en la figura 11-3.

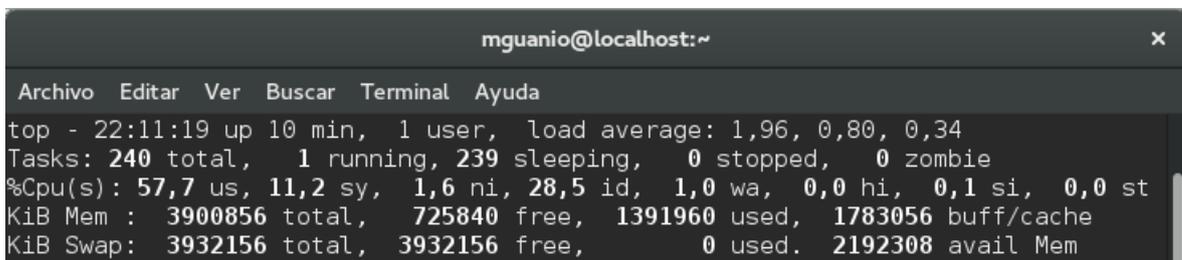


Figura 11-3 Rendimiento del Tx

Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

El archivo enviado 20160827_164433.ts pesa alrededor de 19.4MB, las pruebas se ejecutaron de la siguiente manera:

3.3.1. Prueba 1, Modulación QPSK – 1/2

En la prueba se aplica modulación QPSK, codificación 1/2 y modo de transmisión 2K.

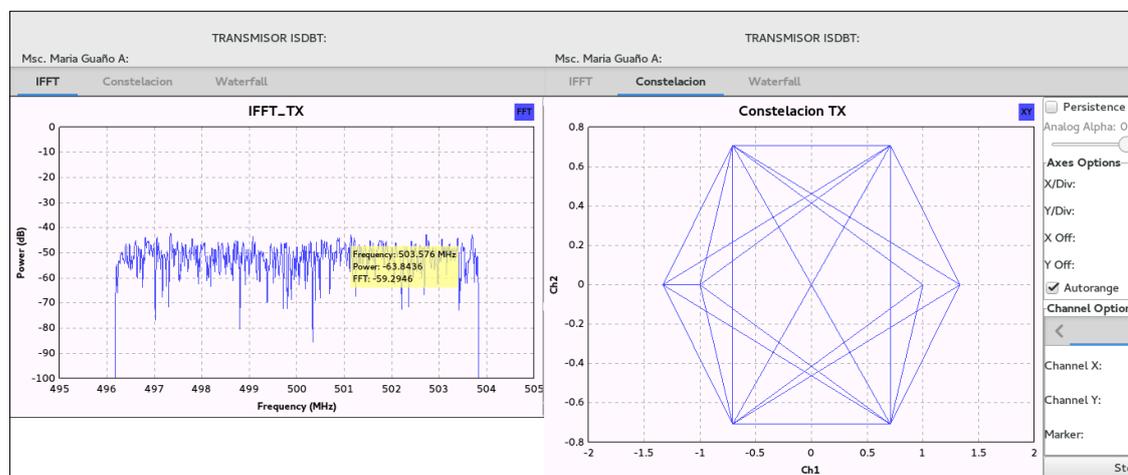


Figura 12-3 Prueba 1 Transmisor: a) Espectro b) Constelación

Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

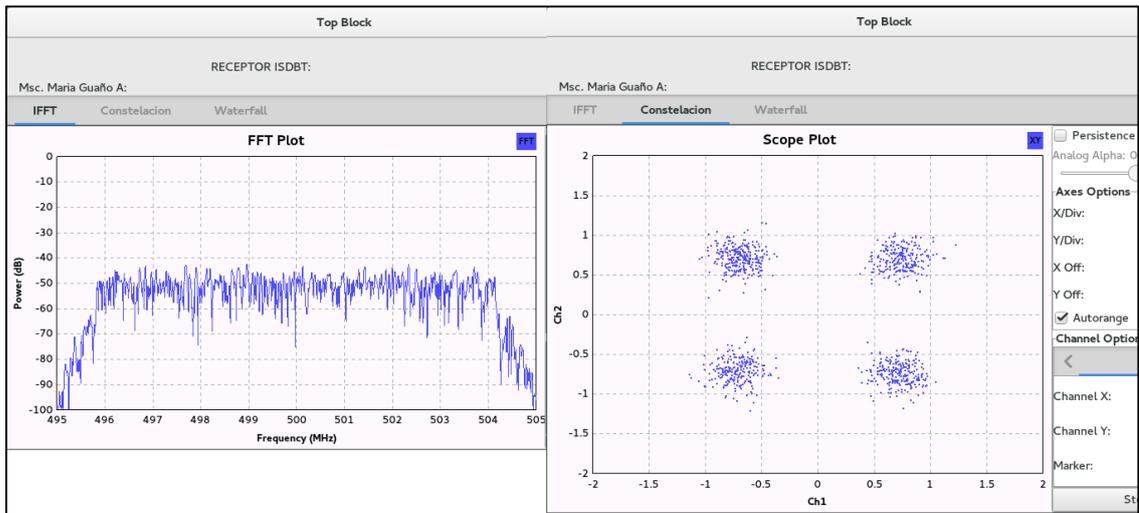


Figura 13-3 Prueba 1 Receptor: a) Espectro b) Constelación
Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

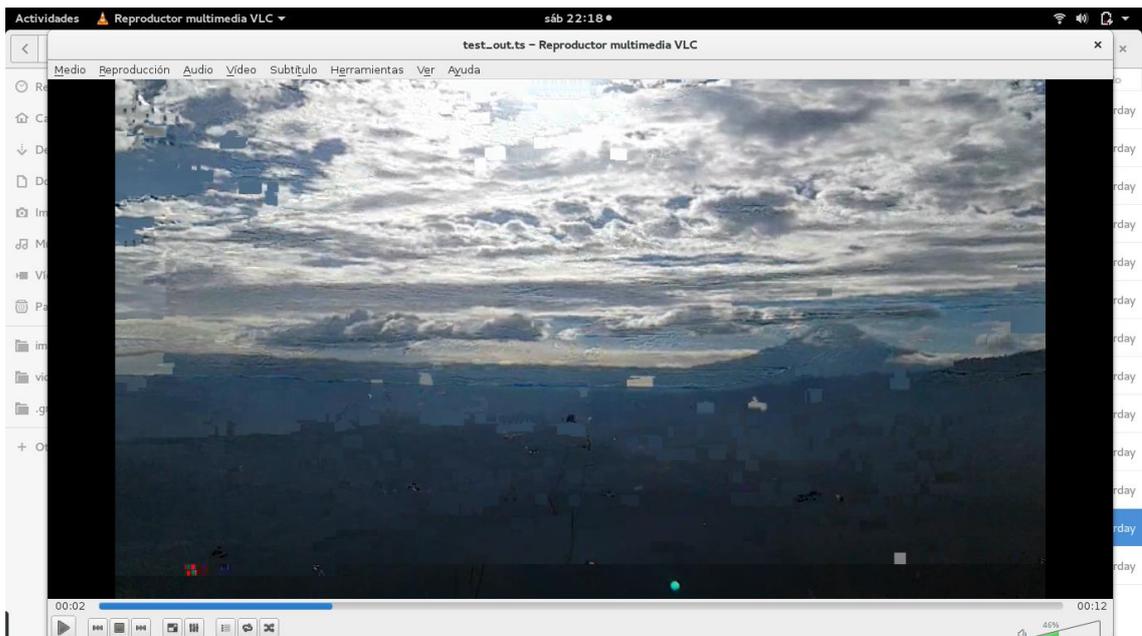


Figura 14-3 Video Recibido Prueba 1
Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

La prueba 4 dio como resultados: consumo de CPU 54.6%, uso de memoria 1.42GB y el video resultante ‘visible’.

3.3.2. Prueba 2, Modulación QPSK – 2/3

En la prueba se aplica modulación QPSK, codificación 2/3 y modo de transmisión 2K.

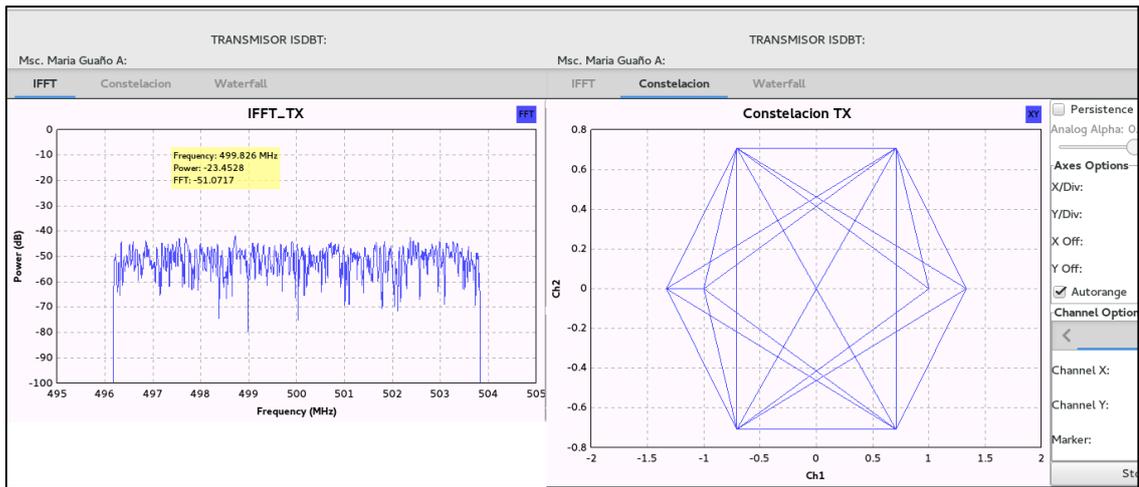


Figura 15-3 Prueba 2 Transmisor: a) Espectro b) Constelación
 Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

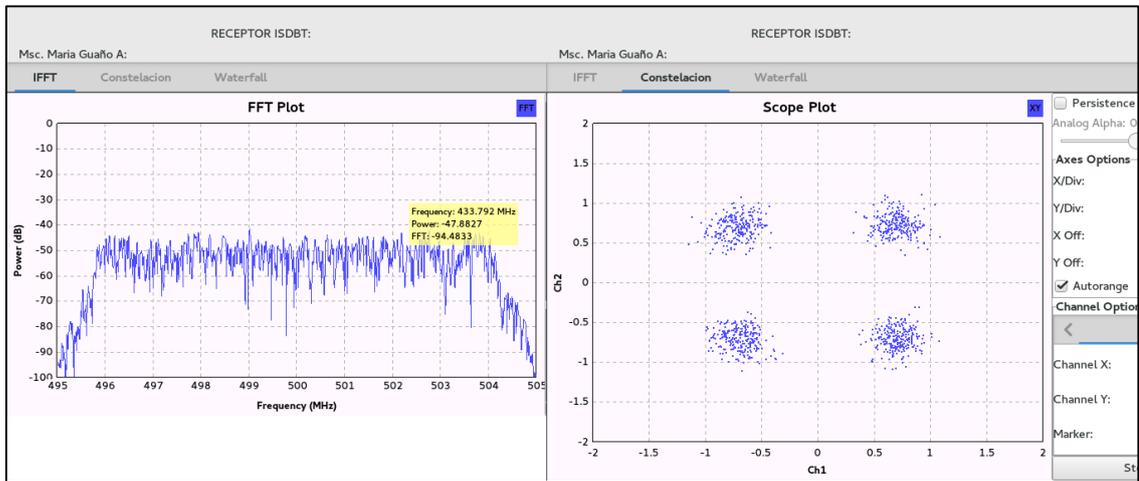


Figura 16-3 Prueba 2 Receptor: a) Espectro b) Constelación
 Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

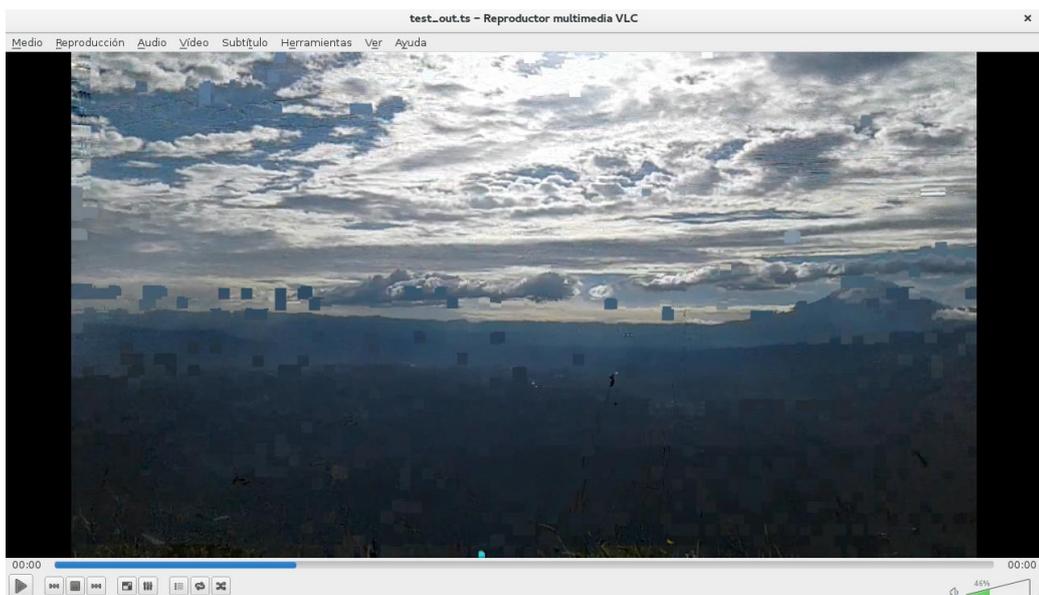


Figura 17-3 Video Recibido Prueba 2
 Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

La prueba 5 dio como resultados: consumo de CPU 63.2%, uso de memoria 1.92GB y el video resultante ‘visible’.

3.3.3. Prueba 3, Modulación QPSK – 3/4

En la prueba se aplica modulación QPSK, codificación 3/4 y modo de transmisión 2K.

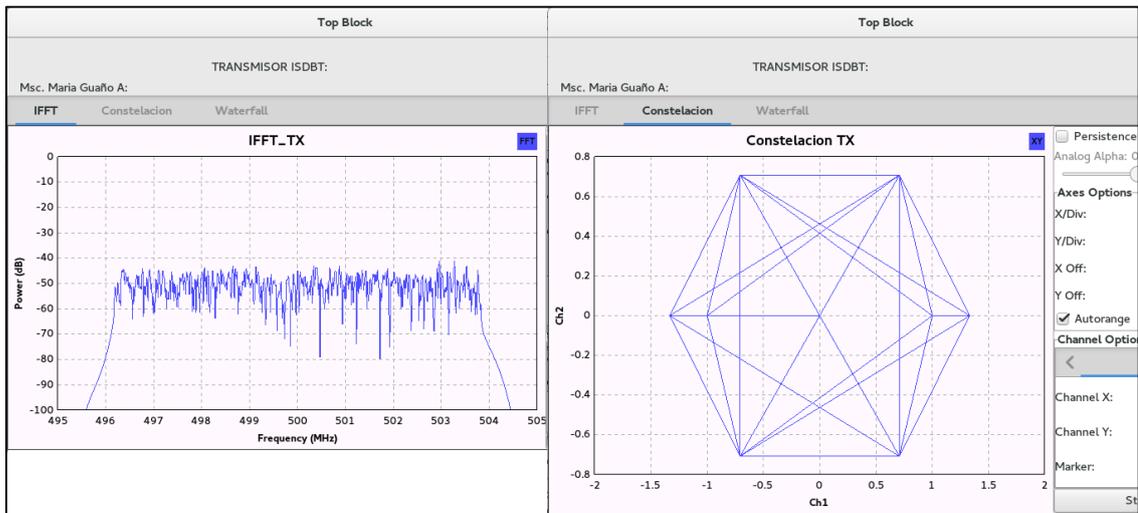


Figura 18-3 Prueba 3 Transmisor: a) Espectro b) Constelación
Realizado por: María Elizabeth Guaño, 2017

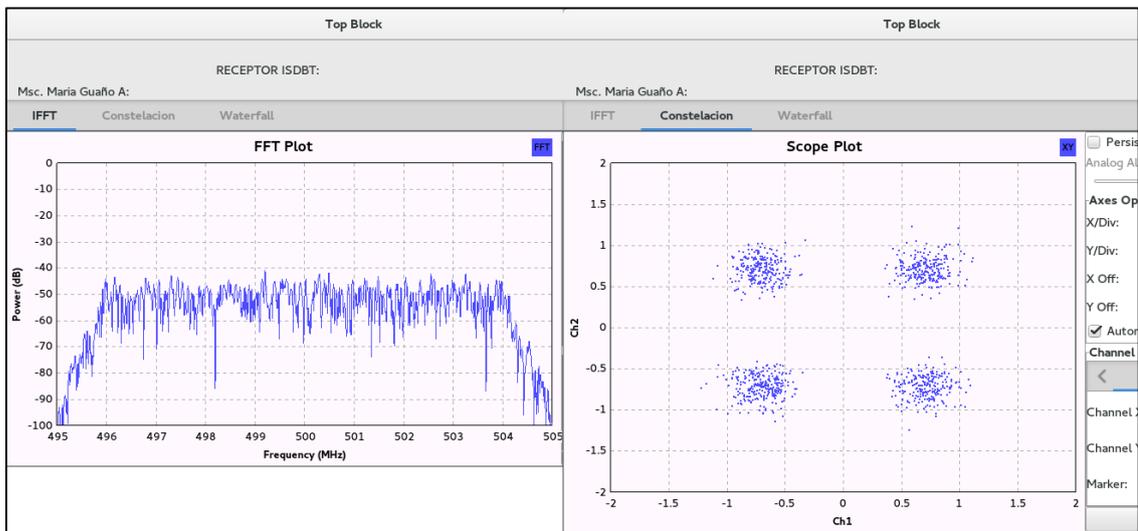


Figura 19-3 Prueba 3 Receptor: a) Espectro b) Constelación
Realizado por: María Elizabeth Guaño, 2017

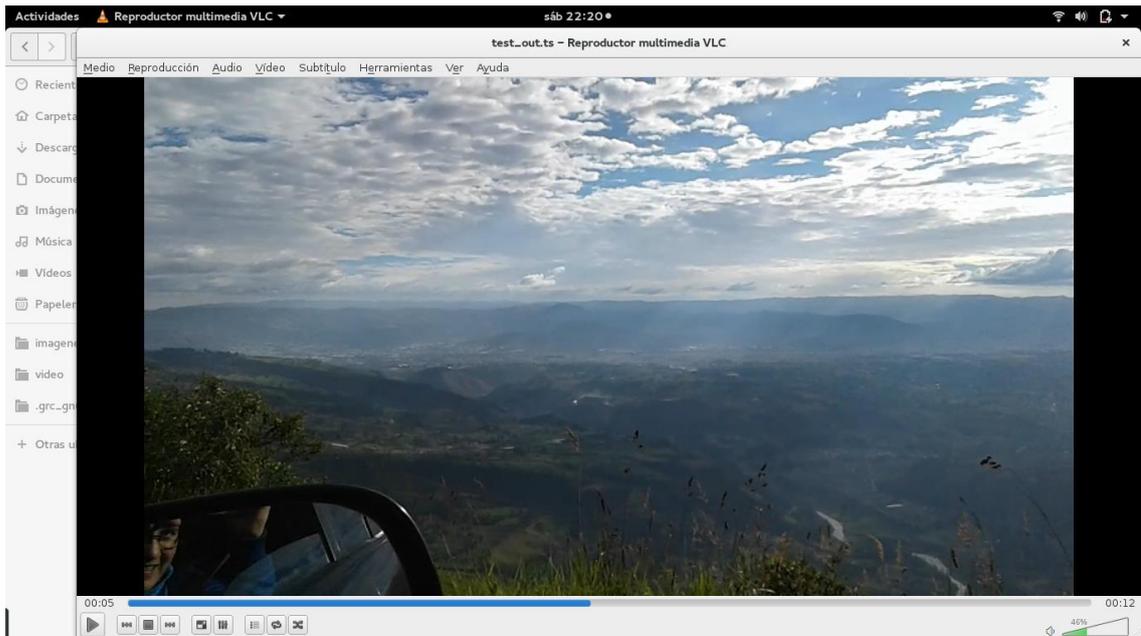


Figura 20-3 Video Recibido Prueba 3
 Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

La prueba 6 dio como resultados: consumo de CPU 62.9%, uso de memoria 1.98GB y el video resultante ‘visible’.

3.3.4. Prueba 4, Modulación 16QAM – 1/2

En la prueba se aplica modulación 16QAM, codificación 1/2 y modo de transmisión 2K.

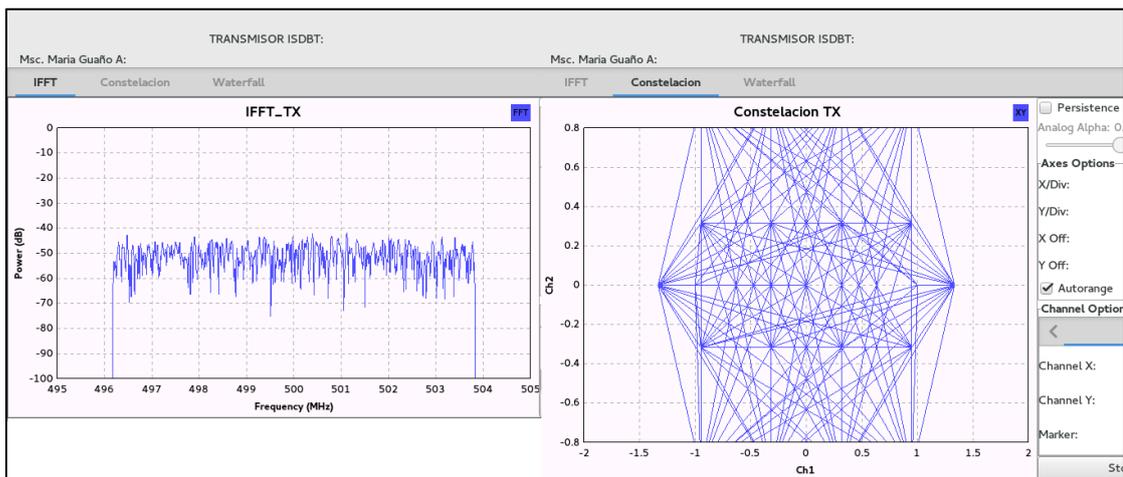


Figura 21-3 Prueba 4 Transmisor: a) Espectro b) Constelación
 Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

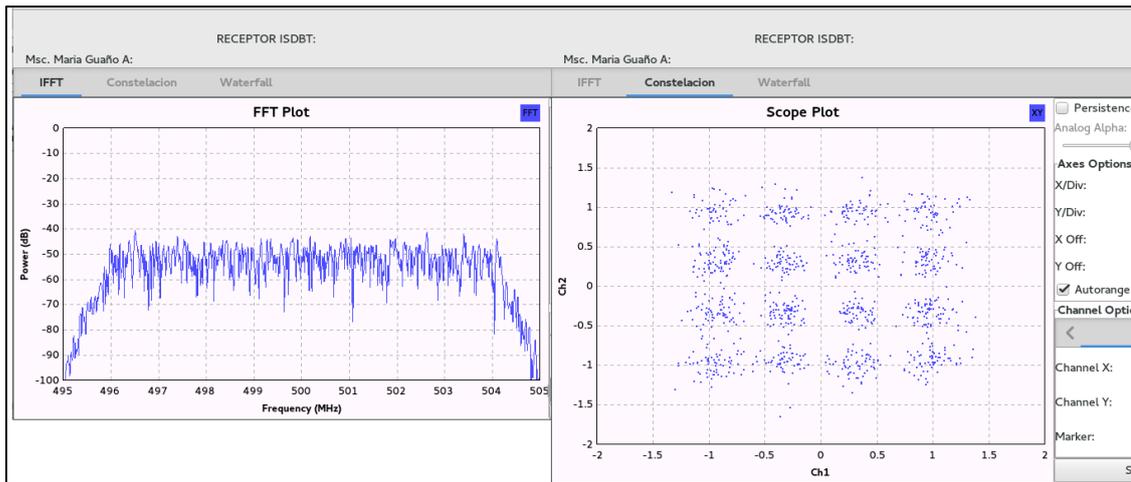


Figura 22-3 Prueba 4 Receptor: a) Espectro b) Constelación
Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

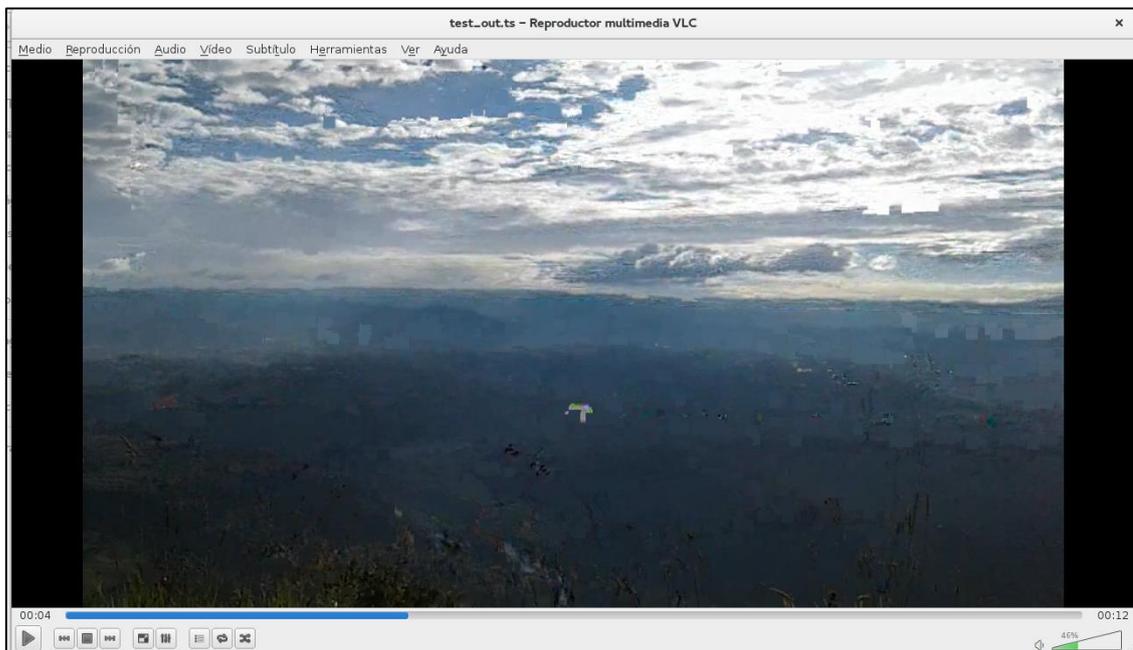


Figura 23-3 Video Recibido Prueba 4
Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

La prueba 1 dio como resultados: consumo de CPU 57.7%, uso de memoria 1.39GB y el video resultante ‘visible’.

3.3.5. Prueba 5, Modulación 16QAM – 2/3

En la prueba se aplica modulación 16QAM, codificación 2/3 y modo de transmisión 2K.

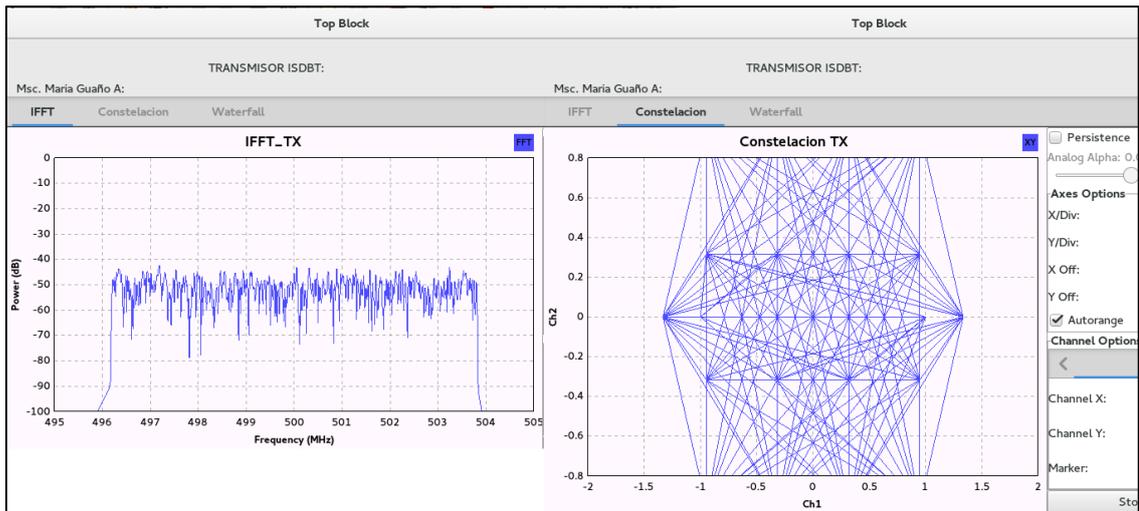


Figura 24-3 Prueba 5 Transmisor: a) Espectro b) Constelación
Realizado por: María Elizabeth Guaño, 2017

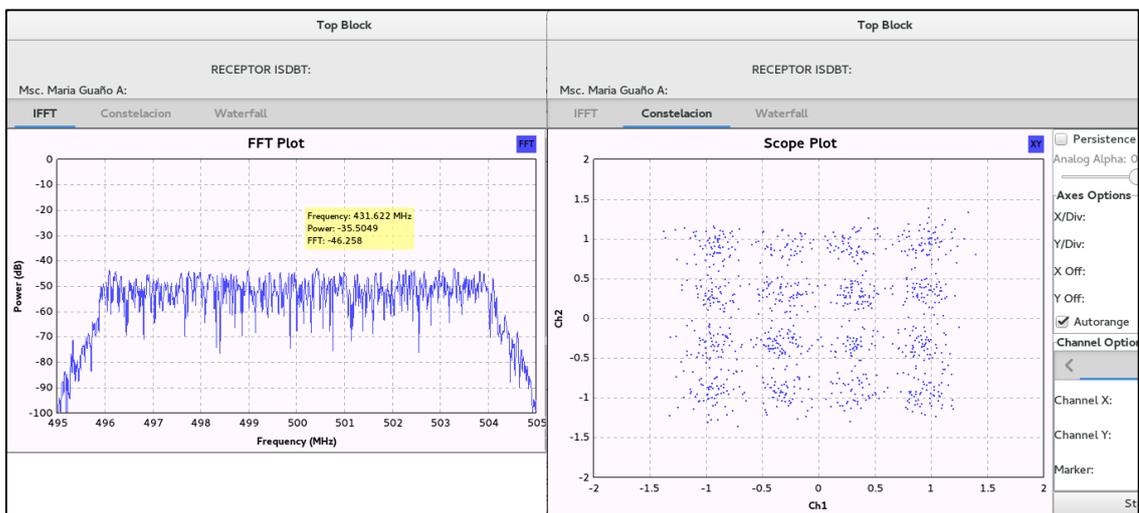


Figura 25-3 Prueba 5 Receptor: a) Espectro b) Constelación
Realizado por: María Elizabeth Guaño, 2017

La prueba 2 dio como resultados: consumo de CPU 66.3%, uso de memoria 1.89GB y el video resultante ‘no visible’.

3.3.6. Prueba 6, Modulación 16QAM – $\frac{3}{4}$

En la prueba se aplica modulación 16QAM, codificación $\frac{1}{2}$ y modo de transmisión 2K.

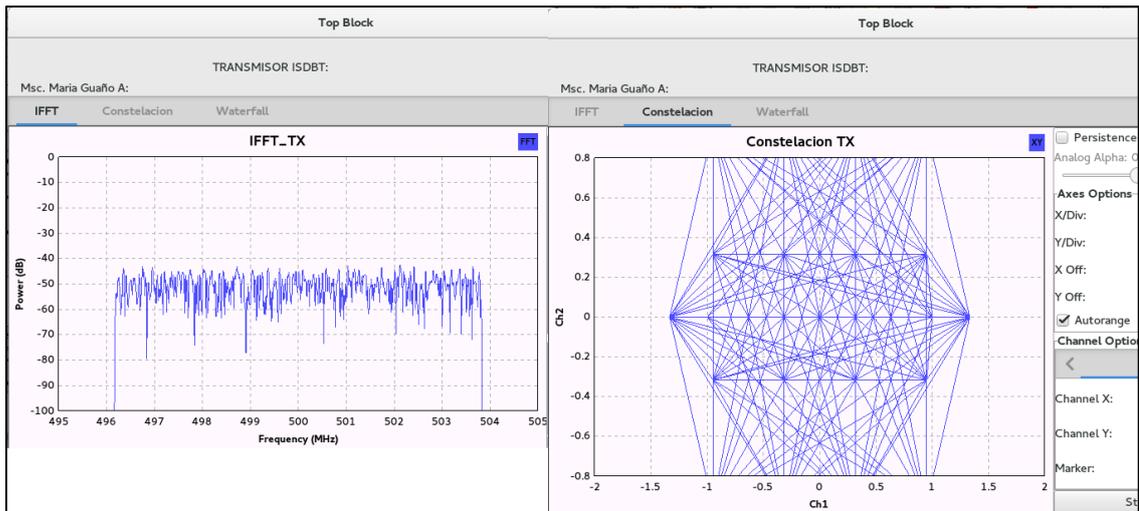


Figura 26-3 Prueba 6 Transmisor: a) Espectro b) Constelación
Realizado por: María Elizabeth Guaño, 2017

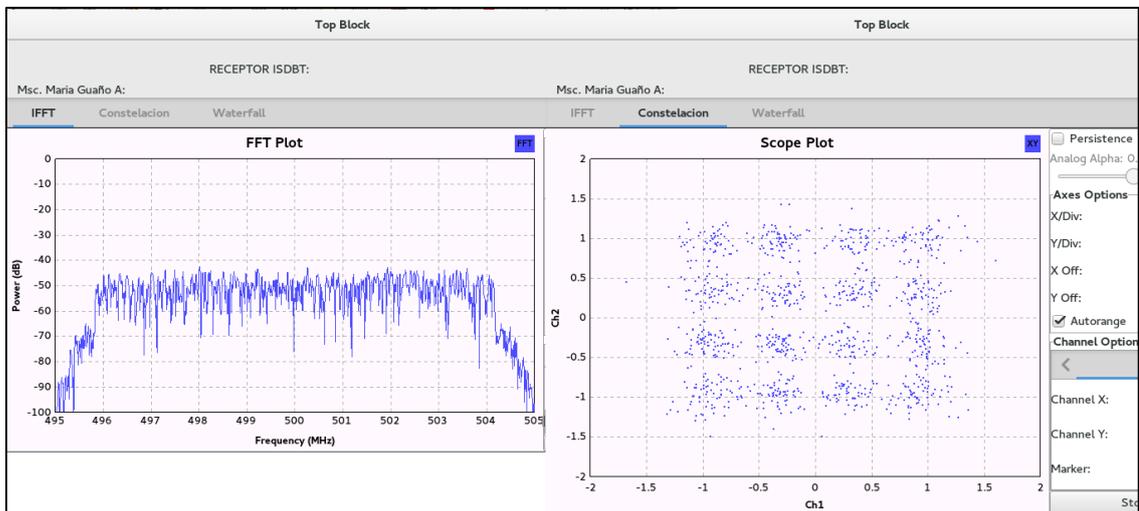


Figura 27-3 Prueba 6 Receptor: a) Espectro b) Constelación
Realizado por: María Elizabeth Guaño, 2017

La prueba 3 dio como resultados: consumo de CPU 63.5%, uso de memoria 1.92GB y el video resultante ‘no visible’.

3.3.7. Prueba 7, Modulación 64QAM – 1/2

En la prueba se aplica modulación 64QAM, codificación 1/2 y modo de transmisión 2K.

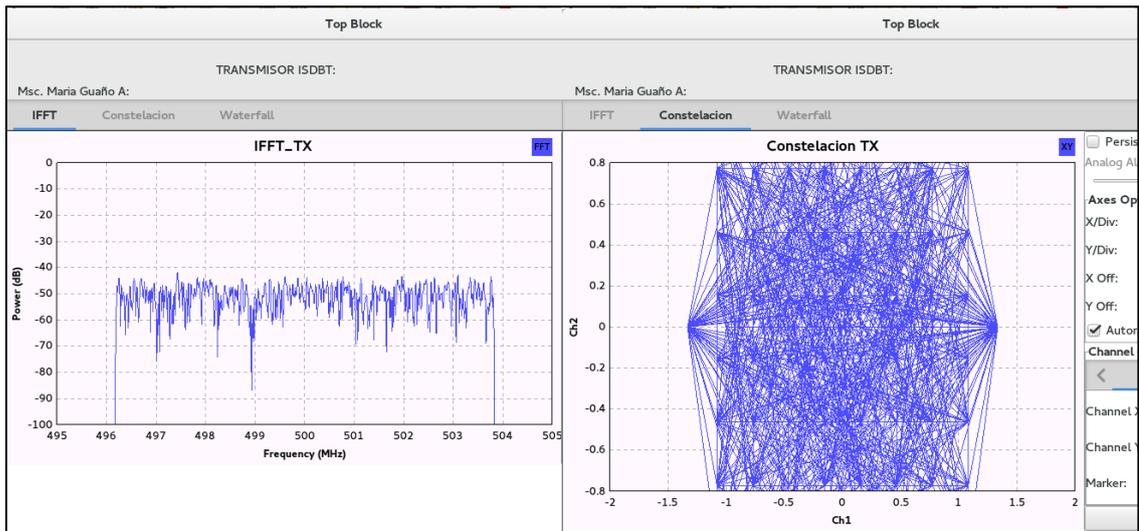


Figura 28-3 Prueba 7 Transmisor: a) Espectro b) Constelación
Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

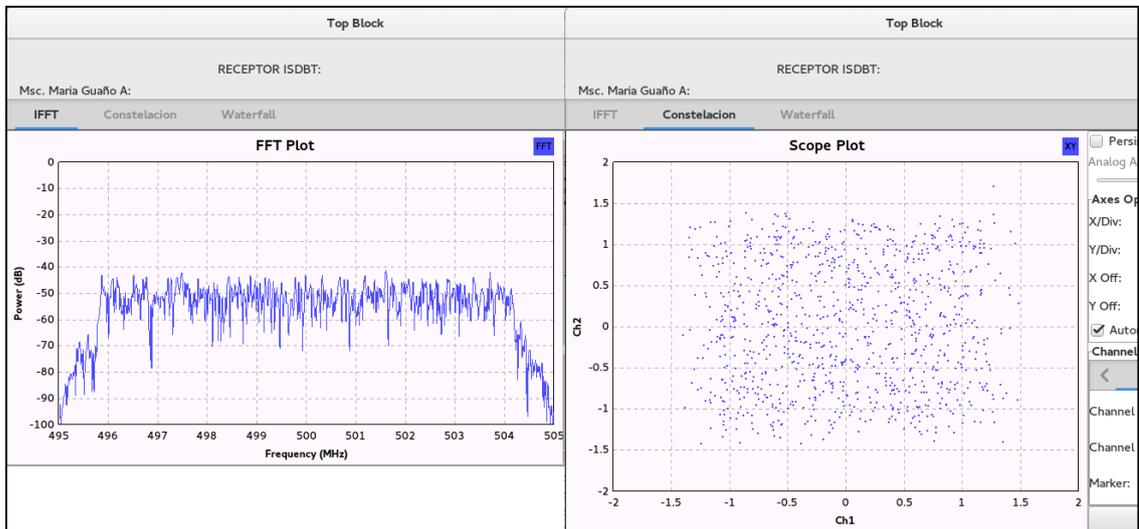


Figura 29-3 Prueba 7 Receptor: a) Espectro b) Constelación
Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

La prueba 7 dio como resultados: consumo de CPU 67.5%, uso de memoria 1.86GB y el video resultante 'no visible'.

3.3.8. Prueba 8, Modulación 64QAM – 2/3

En la prueba se aplica modulación 64QAM, codificación 2/3 y modo de transmisión 2K.

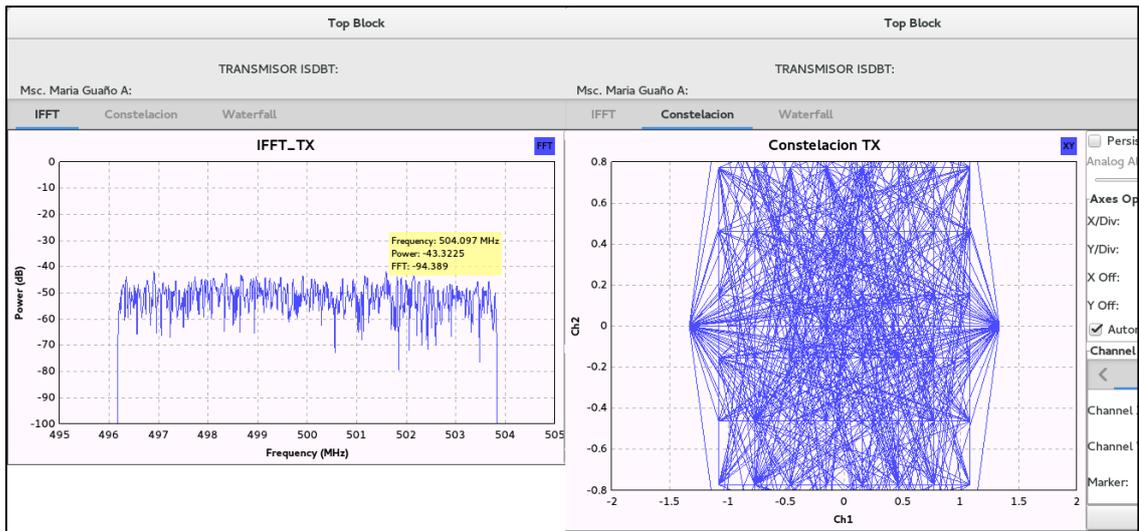


Figura 30-3 Prueba 8 Transmisor: a) Espectro b) Constelación
Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

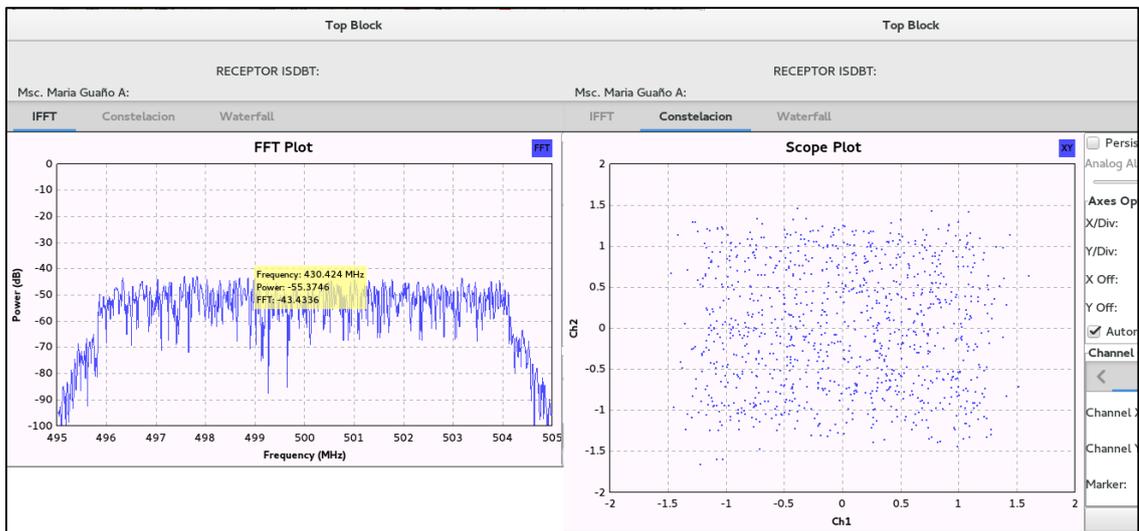


Figura 31-3 Prueba 8 Receptor: a) Espectro b) Constelación
Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

La prueba 8 dio como resultados: consumo de CPU 67.3%, uso de memoria 1.91GB y el video resultante 'no visible'.

3.3.9. Prueba 9, Modulación 64QAM – 3/4

En la prueba se aplica modulación 64QAM, codificación 3/4 y modo de transmisión 2K.

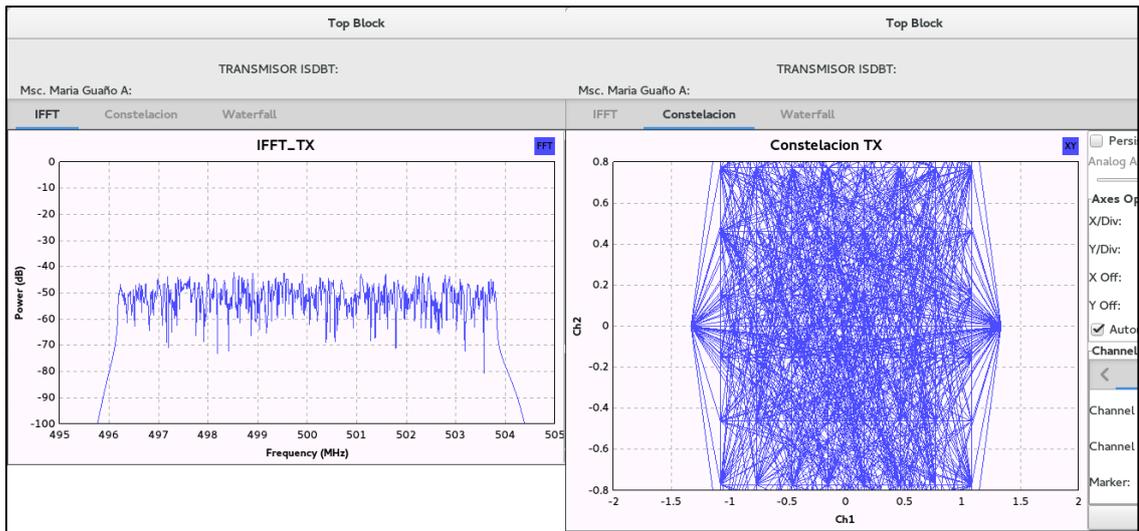


Figura 32-3 Prueba 9 Transmisor: a) Espectro b) Constelación
Realizado por: María Elizabeth Guaño, 2017

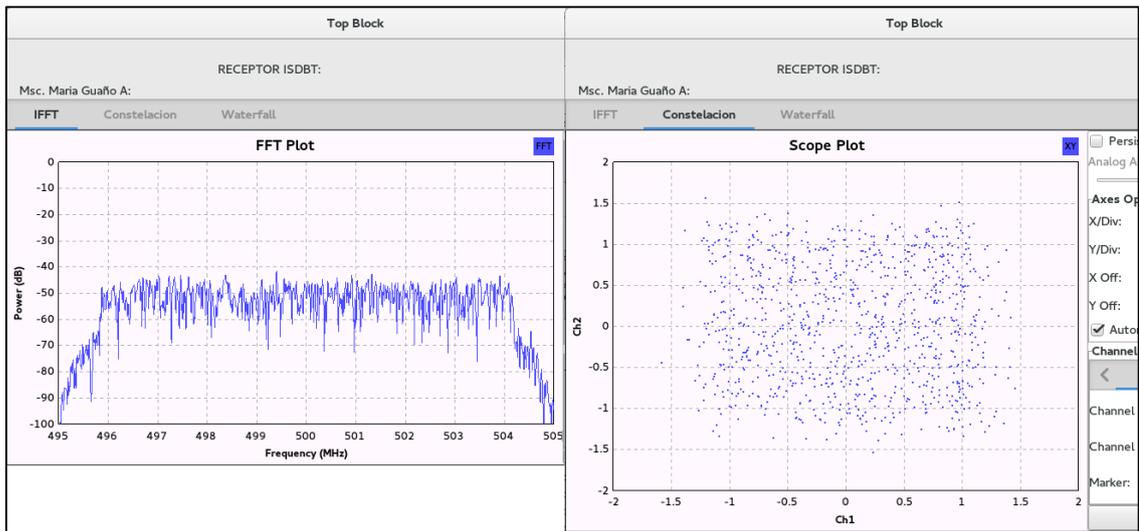


Figura 33-3 Prueba 9 Receptor: a) Espectro b) Constelación
Realizado por: María Elizabeth Guaño, 2017

La prueba 9 dio como resultados: consumo de CPU 72%, uso de memoria 1.94GB y el video resultante ‘no visible’.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se recopila los datos obtenidos de las pruebas ejecutadas en el capítulo III para determinar los parámetros que se mejor se adapten al sistema y analizar el rendimiento del mismo en base a la transmisión satisfactoria de la información.

Además, estos datos son la base de la comparativa de la televisión digital basada en software vs la televisión digital convencional sustentando la teoría que presenta las ventajas de tener un sistema implementado en Radio definido por software.

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Resultados de las Pruebas

Las pruebas realizadas sobre el sistema implementado nos muestran el consumo de los recursos del computador, incluye también el análisis del rendimiento del programa tomando en cuenta la calidad de video recibido en base al método de comparación subjetiva.

Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla 1-4.

Tabla 1-4 Tabla de resultados

| Nº | PRUEBA | CPU | MEM | VISIBLE |
|----|------------|-------|-------|---------|
| 1 | QPSK -1/2 | 54.6% | 1.42G | SI |
| 2 | QPSK -2/3 | 63.2% | 1.92G | SI |
| 3 | QPSK -3/4 | 62.9% | 1.98G | SI |
| 4 | 16QAM -1/2 | 57.7% | 1.39G | SI |
| 5 | 16QAM -2/3 | 66.3% | 1.89G | NO |
| 6 | 16QAM -3/4 | 63.5% | 1.92G | NO |
| 7 | 64QAM -1/2 | 67.5% | 1.86G | NO |
| 8 | 64QAM -2/3 | 67.3% | 1.91G | NO |
| 9 | 64QAM -3/4 | 72.0% | 1.94G | NO |

Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

Para determinar los parámetros aplicados donde se obtienen una correcta transmisión de las pruebas ejecutadas se observa la calidad del video usando un método subjetivo para evaluar la degradación de la señal receptada, en la ITU1368 (Unión Internacional de Telecomunicaciones) se aplica el Método de comparación subjetiva para determinar las relaciones de protección de los sistemas de televisión terrenal analógica [18] de igual forma se usa este recurso como técnica de análisis del video recibido en TDT para el presente estudio.

Las mediciones de protección contra ruido para señales TDT se usa el método de punto de fallo subjetivo como criterio de calidad para determinar el límite sin error de la imagen de video en la pantalla, es decir el valor de relación de señal deseada sobre señal no deseada a la entrada del receptor.[18]

El método subjetivo se aplica a los resultados obtenidos en base a la observación de 5 personas no necesariamente experimentados los cuales determinan si el video obtenido tiene una nota de degradación 3 – “*ligeramente molesta*” o denominada Interferencia Troposférica (*T*) admisible si la degradación es visible en 1 a 5% del tiempo, y una nota de degradación 4 – “*perceptible, pero no molesta*” o denominada Interferencia Continua (*C*) en el que la degradación está presente en el 50% del tiempo.

Los resultados de observación se detallan en la tabla 2-4.

Tabla 2-4 Tabla de resultados de comparación subjetiva

| N° | PRUEBA | VISIBILIDAD PRUEBAS | CALIDAD DE VIDEO OBSERVACIÓN | |
|----|------------|---------------------|---|--|
| | | | Nota 3 (<i>T</i>) Interferencia Troposférica “ <i>ligeramente molesta</i> ” | Nota 4 (<i>C</i>) Interferencia Continua “ <i>perceptible, pero no molesta</i> ” |
| 1 | QPSK -1/2 | SI | 1 | 4 |
| 2 | QPSK -2/3 | SI | 2 | 3 |
| 3 | QPSK -3/4 | SI | 2 | 3 |
| 4 | 16QAM -1/2 | SI | 3 | 2 |
| 5 | 16QAM -2/3 | NO | N/A | N/A |
| 6 | 16QAM -3/4 | NO | N/A | N/A |
| 7 | 64QAM -1/2 | NO | N/A | N/A |
| 8 | 64QAM -2/3 | NO | N/A | N/A |
| 9 | 64QAM -3/4 | NO | N/A | N/A |

Realizado por: María Elizabeth Guaño, 2017

Los resultados muestran que del sistema implementado se obtienen archivos visibles en la modulación QPSK con codificación 1/2, 2/3, 3/4 y de la modulación 16QAM con codificación 1/2.

Según los datos del método subjetivo establecen que la Interferencia Continua está presente mayormente en los videos obtenidos, es decir que la interferencia es perceptible pero no molesta, sin embargo, en las modulaciones QPSK de 2/3, 3/4 y 16QAM de 1/2 la perspectiva de algunos observadores define que la señal tiene degradación “ligeramente molesta”.

Por tanto, los resultados de comparación subjetiva establecen que la modulación QPSK con codificación 1/2 tienen Interferencia continua - perceptible pero no molesta, como consecuencia se deduce que estos son los parámetros que mejor se aplican para obtener una correcta transmisión de video.

4.1.2. Comparación de TDT basado en Software vs TDT basado en Hardware

Como parte del análisis de la televisión digital basado en software con SDR (Software Defined Radio) se realiza la comparativa de la eficiencia del sistema implementado frente a un sistema convencional levantado con equipos físicos.

Para tomar en cuenta un canal de televisión tiene dos secciones la parte de producción que genera contenido audiovisual, la parte de transmisión y la parte de difusión.

Para la comparación se toma en cuenta únicamente la parte de transmisión ya que para los conceptos de TDT basado en software y TDT convencional basada en equipos difiere en cómo se efectúa el procesamiento de la señal.

A continuación, se realiza una tabla comparativa de las características del estándar de televisión digital basada en software y basada en hardware, para el ejercicio se identifican como TDT – SDR y TDT –HW.

Tabla 3-4 Comparación de Funcionamiento TDT - SDR y TDT - HW

| | TDT – SDR | TDT – HW |
|-----------------------------|---|---|
| EQUIPAMIENTO DE TRANSMISIÓN | <ul style="list-style-type: none"> • Computador /Servidor • Tarjeta USRP | <ul style="list-style-type: none"> • Multiplexor • Codificador MPGE4 • EPG Insert OMB • Modulador • Transmisor Isdb-tb |
| PROCESAMIENTO | El procesamiento no está atado al equipo o computador ya que si esta virtualizado se asigna los recursos necesarios y pueden ser modificados según demanda. | El procesamiento del sistema está limitado por el equipo físico que la contiene, si tiene mayor demanda requerirá de otro equipo. |
| CONFIGURACIÓN | El sistema SDR es totalmente flexible, permite una variedad de configuración para transmitir la información. | La configuración está limitada por las opciones disponibles en el sistema enviado desde fábrica. |

Términos: TDT-SDR: Televisión digital basado en software, TDT-HW: Televisión digital basado en hardware.

En resumen se puede determinar que el transmisor en software es totalmente reconfigurable a comparación del transmisor convencional basado en equipos.

La comparación entre TDT con SDR y TDT HW se realiza también en base a la calidad de señal recibida, por lo cual se toman en cuenta las pruebas subjetivas realizadas en el “*Informe para la Definición e Implementación de la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador*” de las cuales todos los observadores dijeron que la calidad del video transmitido con un equipo físico es buena y las pruebas ejecutadas en el Capítulo III usando el mejor parámetro de transmisión para un transmisor en software, 4 de 5 observadores dijeron que la calidad de video es buena. (SUPERTEL, 2008)

Tabla 4-4 Comparación Subjetiva de Calidad TDT-SDR y TDT-HW

| | TDT – SDR | TDT – HW |
|--------------------|-----------|----------|
| Calidad /subjetiva | 4/5 | 5/5 |

Términos: TDT-SDR: Televisión digital basado en software, TDT-HW: Televisión digital basado en hardware.

La comparativa de costos se basa en la tabla 10-2 de las características de equipos para transmisión de televisión digital ISDB-T recopilada de la investigación “*Estudio Técnico y Económico para la Implementación Práctica de un canal de Televisión Digital Terrestre con el estándar Isdb-T Internacional en el Ecuador*” [14].

Tabla 5-4 Comparación Económica TDT-SDR Y TDT-HW

| | EQUIPOS | COSTO | TOTAL |
|---------|----------------------|--------|-----------|
| TDT-SDR | Computador /Servidor | 2,500 | \$ 3,636 |
| | Tarjeta USRP | 1,136 | |
| TDT-HW | Multiplexor | 5,000 | \$ 47,450 |
| | Codificador MPGE4 | 3,000 | |
| | EPG Insert OMB | 4,000 | |
| | Modulador | 12,000 | |
| | Transmisor Isdb-tb | 23,450 | |

Términos: TDT-SDR: Televisión digital basado en software, TDT-HW: Televisión digital basado en hardware.

4.1. ANÁLISIS

Para el análisis de la hipótesis se toma en cuenta el transmisor en sus versiones hardware y software y la relación con sus características. Las características del transmisor tomadas en cuenta son:

- Flexibilidad: se califica determinando cuan reconfigurable es el sistema.
- Calidad de video: Se califica según a la tabla 4.4 la cual resume la degradación de video recibido en base a la percepción de observadores que determinan si la calidad es buena.
- Rentabilidad: se califica este parámetro determinando cuan rentable económicamente es el sistema.

Para el análisis de las características de los sistemas de transmisión basado en software y hardware se realiza una calificación proporcional como se muestra en la tabla 6-4.

Tabla 6-4 Ponderación de los parámetros de calificación.

| PARÁMETROS | PONDERACIÓN |
|------------------|-------------|
| Flexibilidad | 0.33 |
| Calidad de video | 0.33 |
| Rentabilidad | 0.33 |
| TOTAL | 1 |

Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

Cada sistema de transmisión de televisión se califica sobre uno y los parámetros tienen un valor proporcional equivalente a 0.33, para la evaluación de cada parámetro se usa la ponderación dividida en terciles para dar niveles de calificación.

La valoración de calificación se muestra a continuación.

Tabla 7-4 Valoración de calificación de cada parámetro

| FLEXIBILIDAD | CALIDAD | RENTABILIDAD | VALORACIÓN |
|---------------------|----------------|---------------------|-------------------|
| Muy flexible | Alta calidad | Muy rentable | 0.33 |
| Algo flexible | Media calidad | Algo rentable | 0.22 |
| Poco flexible | Baja calidad | Poco rentable | 0.11 |

Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

Las evaluaciones se realizan en base a las tablas comparativas del punto 4.1.1.2 Comparación de TDT basado en Software vs TDT basado en Hardware, las notas obtenidas se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 8-4 Notas de los parámetros de evaluación TDT-SDR y TDT-HW

| PARÁMETROS | TDT-SDR | TDT-HW |
|-------------------|----------------|---------------|
| Flexibilidad | 0.33 | 0.22 |
| Calidad de video | 0.22 | 0.33 |
| Rentabilidad | 0.33 | 0.11 |
| TOTAL | 0.88 | 0.66 |

Términos: TDT-SDR: Televisión digital basado en software, TDT-HW: Televisión digital basado en hardware.

4.2.1. Demostración de la Hipótesis

Para la demostración de la hipótesis planteada se recuerda que la pregunta principal es: *¿Es factible la migración de Televisión Analógica a Digital en Ecuador mediante la implementación de un sistema de transmisión de televisión digital basado en software usando SDR (radio definido por software)?*

Por tanto, para la comprobación de la hipótesis se determina en base a la relación del transmisor de televisión en base a software o hardware y los parámetros establecidos en la tabla 6-4.

El transmisor en hardware representa la migración de televisión digital en Ecuador ya que se comprobó mediante el “Informe para la Definición e Implementación de la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador” de la SUPERTEL que la migración de televisión analógica a digital se dará mediante el estándar ISDB-Tb en base a la transmisión con equipos físicos.

A continuación se determina las directrices para aplicar el método Chi-Cuadrado.

H₀ (*Hipótesis Nula*) = La migración de televisión analógica a digital en Ecuador NO será factible mediante la implementación de un sistema de transmisión de televisión digital basado en software usando SDR (Radio Definido por Software).

H₁ (*Hipótesis Planteada / Alternativa*) = La migración de televisión analógica a digital en Ecuador será factible mediante la implementación de un sistema de transmisión de televisión digital basado en software usando SDR (Radio Definido por Software).

En la tabla 9-4 se muestra las frecuencias observadas en base a la calificación de los parámetros de la tabla 8-4.

Tabla 9-4 Frecuencias Observadas.

| | FLEXIBILIDAD | CALIDAD | RENTABILIDAD |
|----------------|---------------------|----------------|---------------------|
| TDT-SDR | 0,33 | 0,22 | 0,33 |
| TDT-HW | 0,22 | 0,33 | 0,11 |

Términos: TDT-SDR: Televisión digital basado en software, TDT-HW: Televisión digital basado en hardware.

El Grado de libertad (ν) necesario para el cálculo del Chi-Cuadrado es de 2.

Tabla 10-4 Frecuencias del Valor Esperado o teóricas

| | FLEXIBILIDAD | CALIDAD | RENTABILIDAD |
|----------------|---------------------|----------------|---------------------|
| TDT-SDR | 0,31 | 0,31 | 0,25 |
| TDT-HW | 0,24 | 0,24 | 0,19 |

Términos: TDT-SDR: Televisión digital basado en software, TDT-HW: Televisión digital basado en hardware.

El cálculo del Chi-Cuadrado se obtiene de la siguiente ecuación:

$$X_c^2 = \frac{\sum(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

Por tanto el valor de Chi-Cuadrado obtenido es de 0,13.

El nivel de significancia para la teoría planteada es de 5%, es decir 0.05 de tal manera la probabilidad de éxito (ρ) es de 0.95.

El valor crítico del Chi-Cuadrado según la tabla de Chi-cuadrado (v/p - Grado de libertad / probabilidad de éxito) para este caso es de 0.1026.

La metodología del Chi-Cuadrado determina si el valor calculado es menor al valor crítico se acepta la hipótesis nula, caso contrario se acepta la hipótesis planteada. Figura 1-4, En este caso:

$$X^2_{CALC} > Valor\ crítico$$

$$0.13 > 0.1026$$

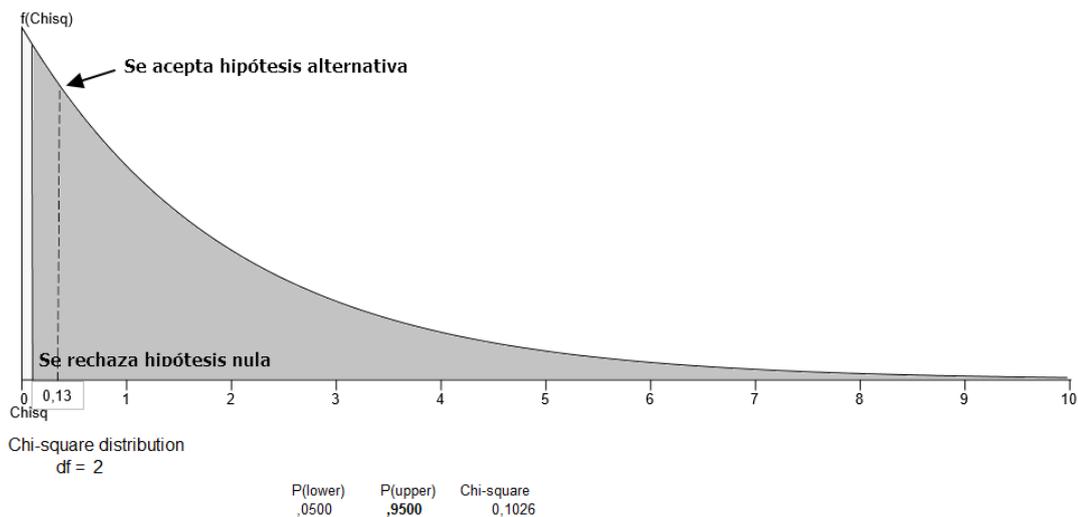


Figura 1-4 Gráfica de Chi-Cuadrado
Realizado por: María Elizabeth Guaño, 2017

Es decir que el valor calculado es mayor que el valor crítico por lo tanto se acepta la hipótesis planteada: *La migración de televisión analógica a digital en Ecuador será factible mediante la implementación de un sistema de transmisión de televisión digital basado en software usando SDR (Radio Definido por Software).*

CONCLUSIONES

- La implementación del sistema de televisión basado en software o SDR aplicado a la televisión digital en Ecuador es una alternativa viable para la migración de televisión digital ya que se comprobó mediante la implementación del sistema de transmisión de TDT en la herramienta de software la correcta transmisión de un archivo de video de extensión .ts; las pruebas demostraron que la transmisión y recepción es posible a través del periférico de salida USRP que en conjunto con el software se complementan para obtener un sistema de radiocomunicaciones de televisión digital.
- Según la comparación económica entre Televisión Digital basada en software y el sistema basado en Hardware, la primera es más rentable ya que la inversión es menor para obtener un sistema de transmisión de TDT equivalente al transmisor desarrollado en hardware.
- En el sistema implementado se aplicó el Método de comparación subjetiva como punto de análisis para determinar el nivel de degradación de la señal recibida, con ello se obtuvo que la interferencia Continua - “perceptible, pero no molesta” esta mayormente presente en los archivos recibidos, y que la modulación QPSK con codificación $\frac{1}{2}$ son los parámetros que mejor se aplican para obtener una correcta transmisión.
- El estudio determina que la herramienta de Radio definido por software es un sistema muy flexible y variable ya que permite una variedad de opciones de configuración del sistema haciéndolo adaptable a cualquier escenario. La etapa de software escogida fue GNURADIO open source es decir de libre descarga que provee una herramienta robusta totalmente versátil para el desarrollo de aplicaciones de comunicación, la etapa de hardware usada fue la tarjeta USRP B210 dicha tarjeta en sí permite la configuración de sincronización, potencia de la antena entre otras y el modelo seleccionado soporta configuración automática del reloj para la sincronización.
- El archivo de video transmitido es extensión .ts (transport stream) es decir haz de datos, audio y video que luego de ser remultiplexados se unen en único ts, por tanto para el proceso de transmisión se toma encuentra que este archivo ya está remultiplexado en un solo flujo de datos, dicho paquete está dentro del estándar MPEG4 especificado en el sistema ISDB –T de televisión digital.

RECOMENDACIONES

- Aplicar el sistema implementado de transmisión para televisión digital basado en software en un canal de televisión universitario o comunitario para la difusión de una señal de prueba.
- Tomar en cuenta la frecuencia aplicada en el sistema para difundir señal de prueba en otros canales de televisión basada en el plan nacional de Frecuencias del estado ecuatoriano y en las frecuencias libres destinadas a la televisión digital.
- Se recomienda dar continuidad a la investigación del sistema de transmisión basado en radio definido por software al aplicar el sistema implementado en otros sistemas de Radio que se destinen para las comunicaciones en la población ecuatoriana.
- Incluir en el sistema de transmisión de televisión digital basado en software otros módulos para difundir en diferentes modos de operación, dado que el sistema implementado es muy flexible lo que permite modificar las configuraciones.

GLOSARIO

| | |
|----------------|---|
| ABNT | Asociación Brasileña de Normas Técnicas |
| AM | Amplitud Modulation |
| ARCOTEL | Agencia de Regulación y Control de Telecomunicaciones del Ecuador |
| ARIB | Assiciuation of Radio Industries and Bussines |
| CITDTI | Comité Interinstitucional Técnico para la implementación de la Televisión Digital Terrestre |
| CONATEL | Consejo Nacional de Telecomunicaciones |
| DVB-T | Digital Video Broadcasting – Terrestrial |
| FM | Frecuency Modulation |
| HW | Hardware |
| IFFT | Inverse Fast Fourier Transform |
| ISDB-Tb | Integrated Services Digital Broadcasting – terrestrial |
| MINTEL | Ministerio de Telecomunicaciones del Ecuador |
| MPEG | Moving Picture Experts Group |
| NTSC | Comisión Nacional de Sistemas de Televisión |
| OFDM | Orthogonal Frequency Division Multiplexing |
| PRBS | Pseudo Random Bit Sequence |
| QAM | Quadrature Amplitude Modulation |
| QPSK | Quadrature Phase Shift Keying |
| RS | Reed Salomon |
| SDR | Software-defined radio |
| SNR | Signal to noise ratio |
| TDT | Televisión Digital Terrestre |
| TS | Transport Stream |
| UHF | Ultra High Frequency |
| USRP | Universal Software Radio Peripheral |
| VHF | Very High Frequency |
| ITU | Unión Internacional de Telecomunicaciones |

BIBLIOGRAFIA

ABNT NBR 15601: (2007). Televisión digital terrestre—Sistema de transmisión. ABNT, Río de Janeiro.

ADRIANO, E., (2013), Diseño de los parámetros técnicos para la convergencia de televisión analógica a televisión digital ISDB-Tb de Tvs Canal 13 de la Ciudad de Riobamba, (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba – Ecuador.

ALULEMA D., (2012), La Televisión Digital Terrestre en el Ecuador es interactiva. Revista EÍDOS. 5ª ed. Universidad Tecnológica Equinoccial. pp. 12-19.

ALULEMA, D. (2012). La televisión digital terrestre en el ecuador es interactiva. Revista EÍDOS 5to. Número. Recuperado de: <https://www.ute.edu.ec/posgrados/eidos5/art-2.html>

ALVARADO J., & AVECILLAS A. (2015). Propuesta para la distribución de Frecuencias en el segmento televisivo del Ecuador de acuerdo a la norma ISDB-Tb. (Tesis Maestría) Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador.

BOGDAN, D. (2013). DVB-T implementation in GNUradio: Recuperado de: <https://yo3iiu.ro/blog/?p=1220>

BUCHELI, H. (2009). Estudio del impacto socio económico de la implementación de la televisión digital terrestre en Ecuador. Quito: CIESPAL.

CALERO, A., & VILLACRÉS, C. (2009). Análisis y estudio de ingeniería para la selección del estándar de televisión digital más apropiado para Ecuador bajo la supervisión de la “Supertel”. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba – Ecuador.

CHAVEZ, J., (2005). Software Radio y el USRP, Universidad de las Américas, Puebla.

CRUZ, D., OLMEDO, G., & LEÓN, R. (2016). Análisis de disponibilidad de espectro radioeléctrico para la transición de Televisión Analógica a Televisión Digital Terrestre en el Ecuador. Universidad de las fuerzas Armadas ESPE. Sangolquí – Ecuador.

DE LA MORENA ÁLVAREZ-PALENCIA, C., LÓPEZ, Á. M., & GARCÍA, M. B. (2008). Comparación entre arquitecturas de RF para Radio Definida por Software. XXIII Symposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio, p. 149.

DIGITAL BROADCASTING EXPERTS GROUP. (2017), Comparación de los 3 sistemas DTTB, Recuperado de: <http://www.dibeg.org/techp/3comp/3comp.html>

ECUADOR. MINISTERIO DE TELECOMUNICACIONES Y SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN. (2015). Proceso de Implementación de Televisión Digital en el Ecuador. Recuperado de: http://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/PRESENTACION%CC%81N_TDT_MINTEL-Febrero-2015.pdf

ECUADOR. SUPERTEL (2009), Informe De La Televisión Digital Terrestre En Ecuador, Recuperado de: <http://www.advicom.ec/userFiles/files/DECRETO%20EJECUTIVO%20No,208>

ECUADOR. SUPERTEL. (2008). Informe para la Definición e Implementación de la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador.

ITU-R BT.1368-12. (2015). Planning criteria, including protection ratios, for digital terrestrial television services in the VHF/UHF bands, Unión Internacional de Telecomunicaciones. febrero 2015.

MACIEL, Y. P., AKAMINE, C., BEDICKS, G., & LOPES, P. B. (2015). ISDB-Tb transmission in software-defined radio. IEEE. In 2015 7th IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM). pp. 1-6.

MORENO, B., & SALAZAR, J. (2011). Estudio y Análisis de Factibilidad para la Implementación de la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador (Doctoral dissertation, Tesis de Grado, Facultad de Ingenierías, Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Cuenca, Ecuador).

NIETO, V., & SANI, J., (2012). Estudio Técnico y Económico para la Implementación Práctica de un canal de Televisión Digital Terrestre con El Estándar ISDB-T Internacional en el Ecuador, (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba – Ecuador.

PÁEZ VÁSQUEZ, X. (2014). Evaluación del desempeño del estándar DTMB en las pruebas de televisión digital terrestre en Ecuador. Universidad de las fuerzas Armadas ESPE. Sangolquí – Ecuador.

PALOMEQUE, L., (2015). Diseño de la Ingeniería de un Canal TDT basado en el estándar ISDB-T Internacional Para Tv Sultana de Riobamba, (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba – Ecuador.

PUNÍN, M. I., MARTÍNEZ, A., & RENCORET, N. (2014). Medios digitales en Ecuador: perspectivas de futuro. Comunicar, 21(42).

RIBADENEIRA, J. (2016), Planificación de Frecuencias para Televisión Digital Terrestre (TDT) en Sudamerica, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia - España, Recuperado de: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/2569>

RIVERA COSTALES, J. A. (2013). Mapa de Medios digitales del Ecuador 2012. Centro Internacional de Estudios Superiores de Comunicación para América Latina- CIESPAL.

ROJAS, P. (2012). La Televisión Digital Terrestre y su incidencia en las estaciones televisivas ecuatorianas. Advicom Cia. Ltda.

SOTELO, R., & DURÁN, D. (2008). Modulación digital: aplicación a la televisión digital en DVB. Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica, (6), pp. 42-63.

SOTELO, R., DIEGO, D., & JOSKOWICZ, J. (2011). Sistema de transmisión ISDB- T. Memoria de trabajos de difusión científica y técnica, (9), pp. 67-77.

WU, Y., PLISZKA, E., CARON, B., BOUCHARD, P., & CHOUINARD, G. (2000). Comparison of terrestrial DTV transmission systems: the ATSC 8-VSB, the DVB-t COFDM, and the ISDB-t BST-OFDM. IEEE Transactions on Broadcasting, 46(2), pp. 101-113.

ANEXOS

Anexo A. Proceso de Implementación

En esta sección se presenta el proceso de ejecución del sistema implementado del presente proyecto, de tal manera que de este proceso se desprende 3 etapas: preinstalación, desarrollo y configuración.

Pre-instalación

Gnu Radio es una herramienta de código libre usado para el desarrollo de programas destinados al estudio de radio comunicación, está basado en bloques ya desarrollados o que pueden ser programados para diferentes funcionalidades y análisis. El software GNURADIO Companion puede ser instalado en Windows o en Linux, para este proyecto se decidió aplicar en Linux específicamente con la distribución Fedora 23 instalada localmente, también existe la posibilidad de ejecutar desde un sistema preinstalado en una USB que viene adjunto a la tarjeta USRP con Linux-mint donde tiene todos los paquetes necesarios para correr el software, sin embargo en una instalación local se puede realizar cambios de configuración permanentes e instalación de paquetes externos. Después del establecimiento del sistema operativo se continúa con el software GNURADIO el cual tiene dos opciones de instalación a través de los repositorios locales o la instalación manual en el que se tiene que compilar paquete a paquete. En el desarrollo de este programa se usó las dos opciones y la mejor opción es la instalación manual ya que permite saber con seguridad el direccionamiento de instalación del software con lo cual se facilita posteriormente la compilación de nuevos bloques y el desarrollo de bloques inéditos. Se recomienda para la instalación manual usar un script generado previamente por un grupo de desarrolladores de GNURADIO llamado 'build-gnuradio'. Una vez compilado se debe abrir el ambiente de GNURADIO como se muestra en la siguiente imagen:

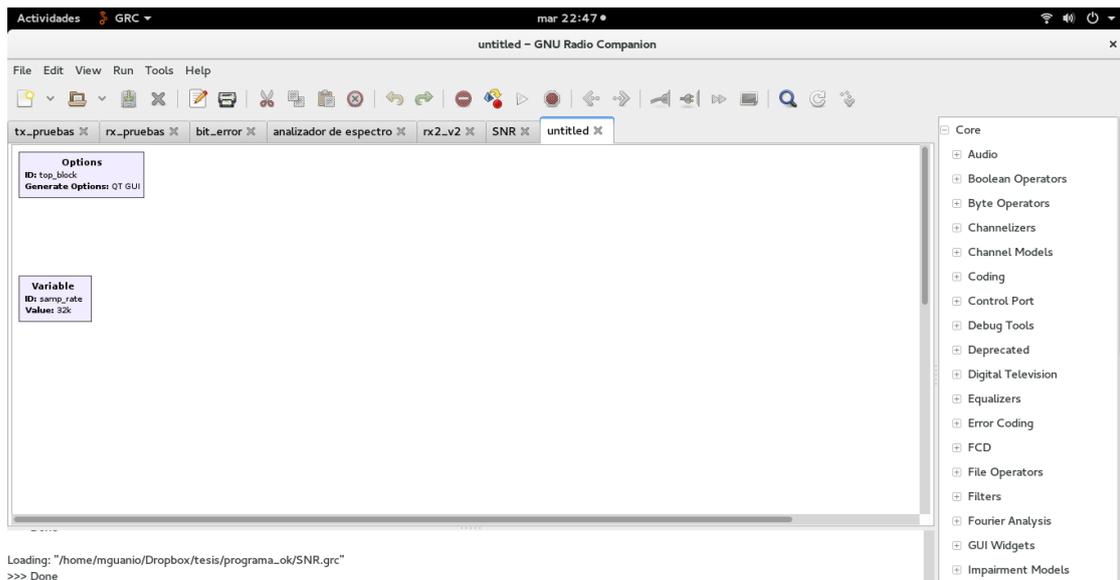


Fig. 1A Ambiente GNURADIO

Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

Después de lo cual se debe verificar que el sistema está correctamente instalado y soporta los drivers de la tarjeta USRP, para lo cual se ejecuta por consola los siguientes comandos: UHD_FIND_DEVICES que nos muestra el modelo de tarjeta USRP y el comando UHD_USRP_PROBE en muestra las propiedades de la tarjeta como ganancia, rangos de frecuencia, rangos de ganancia, etc.

```

mguanio@localhost:~$ uhd_find_devices
Linux; GNU C++ version 5.3.1 20160406 (Red Hat 5.3.1-6); Boost_105800; UHD_3.11.0.git-28-gc66cb1ba

-----
-- UHD Device 0
-----
Device Address:
  type: b200
  name:
  serial: 30875F1
  product: B210

[mguanio@localhost ~]$ uhd_usrp_probe
Linux; GNU C++ version 5.3.1 20160406 (Red Hat 5.3.1-6); Boost_105800; UHD_3.11.0.git-28-gc66cb1ba

-- Detected Device: B210
-- Operating over USB 2.
-- Initialize CODEC control...
-- Initialize Radio control...

```

Fig. 2A Comando de Reconocimiento de Tarjeta USRP

Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

```
TX Frontend: B
Name: FE-TX1
Antennas: TX/RX
Sensors: temp, lo_locked
Freq range: 50.000 to 6000.000 MHz
Gain range PGA: 0.0 to 89.8 step 0.2 dB
Bandwidth range: 200000.0 to 56000000.0 step 0.0 Hz
Connection Type: IQ
Uses LO offset: No

TX Codec: A
Name: B210 TX dual DAC
Gain Elements: None
```

Fig. 3A Comandos para mostrar propiedades de tarjeta USRP

Realizado por: María Elizabeth Guaño, 2017

Después de comprobar que está cargando el sistema y que soporta la tarjeta se procede con el siguiente paso que es el desarrollo.

Desarrollo

Para la etapa de desarrollo se aplica los conocimientos estudiados en el capítulo II de Marco Teórico, previo a esto se identifica los bloques que se pueden usar en la realización del programa de transmisión de televisión digital.

En el escritorio de gnuradio se puede colocar varios bloques los cuales puedes ser configurados según su aplicación, al iniciar muestra 2 bloques 'Options' y 'Variable' como se muestra en la figura 1, en el bloque 'options' se configura principalmente la presentación gráfica que es la que nos permite usar componentes destinados a mostrar salida de datos se toma en cuenta 'Generate Options' que es la configuración de publicación de resultados, para la implementación se usó WXGUI.

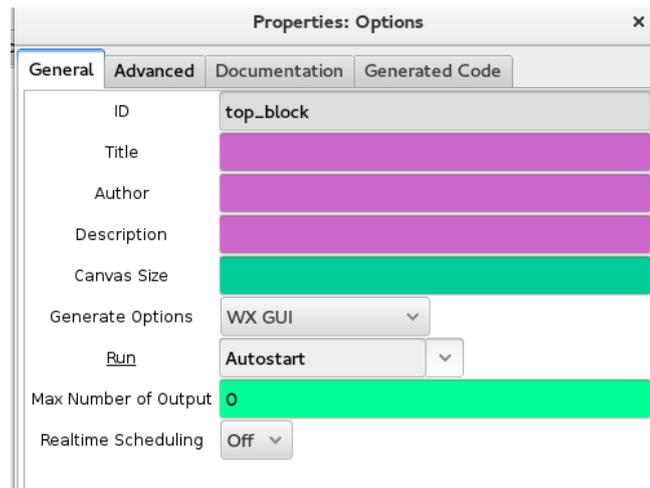


Fig. 4A Configuración de bloque Options
Realizado por: María Elizabeth Guaño, 2017

En el diseño del programa se usó varios bloques pre-existentes en GNURADIO como el bloque 'File Source' que es aquel que obtiene los datos que van a ser enviados, en este caso un archivo de video .ts, se debe tener en consideración el tipo de salida de datos del bloque 'Output Type' para conectar con el siguiente bloque.

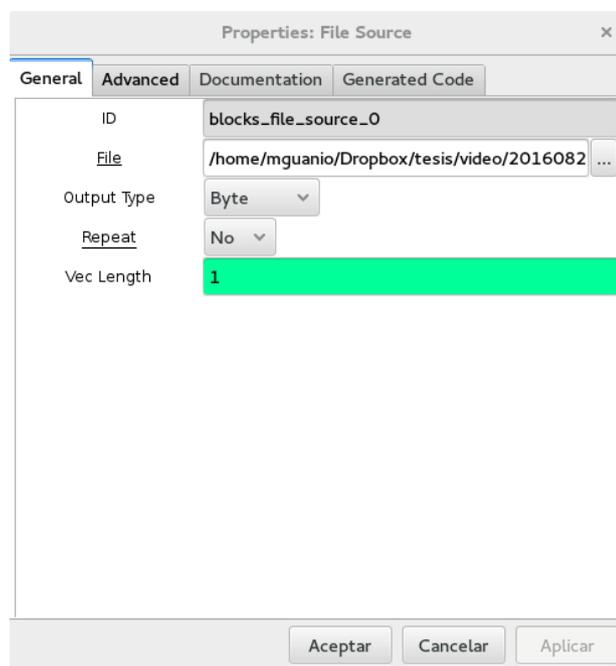


Fig. 5A Configuración bloque File Source
Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

En la implementación se instaló bloques externos como 'gr-isdbt' y 'gr-dvbtv' para lo cual es necesario descargarse los bloques desde el git de la web en el directorio del /home/usuario e

instalarlos como indica el tutorial de cada paquete, se recomienda tener permisos de administrador.

A través de lo antes expuesto se colocó los bloques según el uso requerido y se configuró en base a las bases teóricas estudiadas.

Configuración

Con el diseño implementado se permite variar la configuración de los parámetros que sirvieron para la demostración del desempeño del sistema.

Las variables que se cambiaron en los bloques del sistema de transmisión y recepción fueron la modulación y la codificación, dichos bloques modificados se describen a continuación:

Inner_coder: codificación interna, aquí permite cambiar la constelación en 'Constellation Type' y la codificación en 'code rate' como se muestra en la siguiente figura A-7.

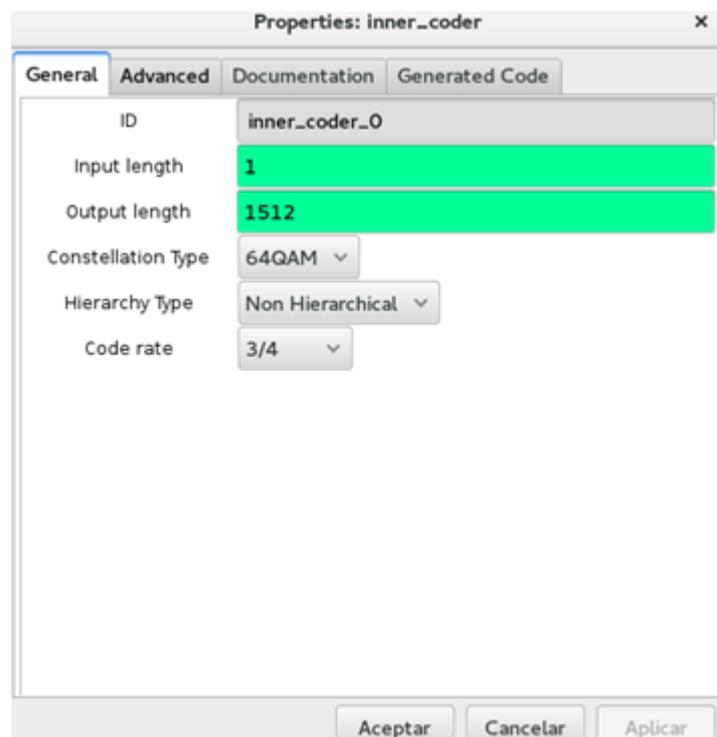


Fig. 6A Configuración de bloque inner_coder
Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

Bit_inner_interleaver: entrelazado de bit, se modifica la modulación en 'Constellation Type'.

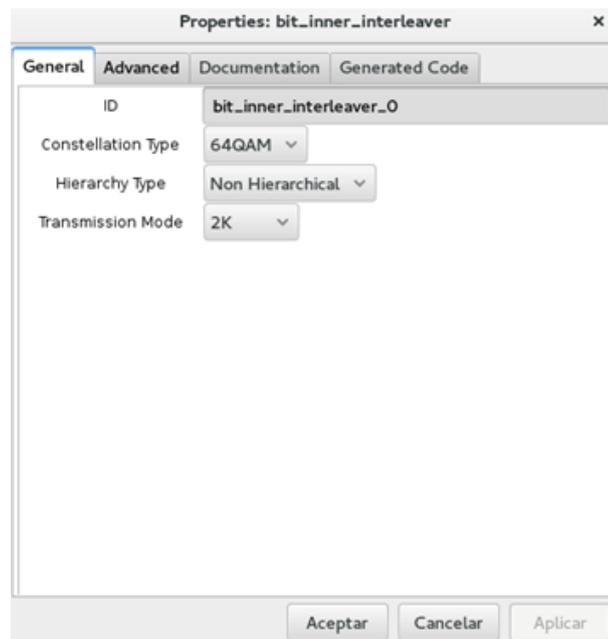


Fig. 7A Configuración de Bloque Bit_inner_interleaver
Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

Map: En el mapeo de igual forma se cambia la constelación en 'Constellation Type'.

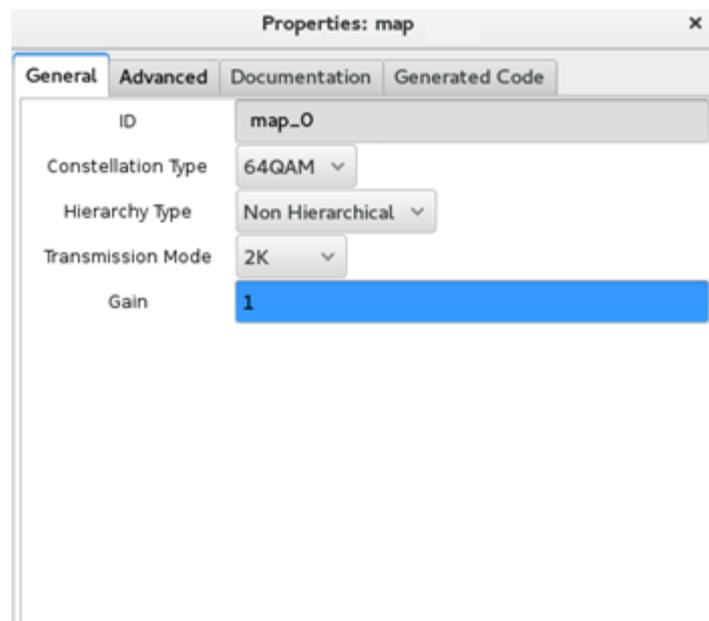


Fig. 8A Configuración de bloque Mapper
Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

Reference_signals: agrega sincronización para la correcta recepción; se edita la configuración en 'Constellation Type' y la codificación en 'code_rate' incluso se puede editar el intervalo de guarda.

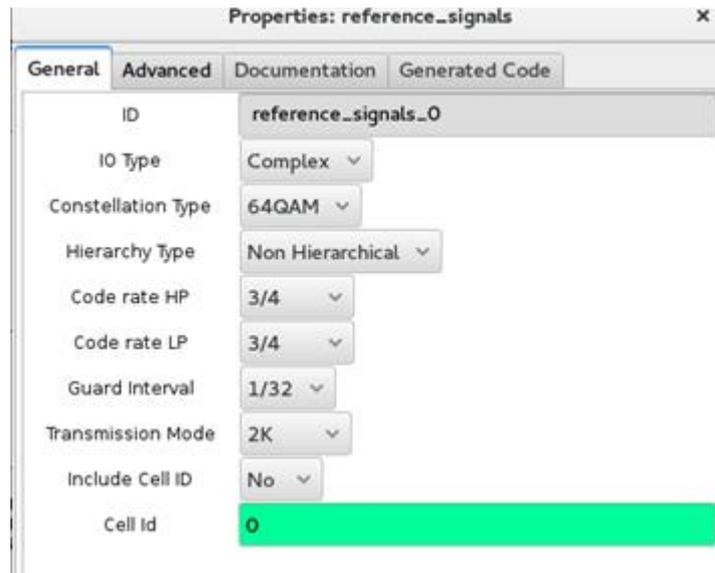


Fig.9A Configuración de bloque reference signals

Realizado por: Maria Elizabeth Guaño, 2017

Las modificaciones de configuración ejecutadas permiten obtener los resultados de espectro y constelación de la señal de transmisión, se describe los resultados en el capítulo IV.

Anexo B.

Distribución de canales por Zona Geográfica

Anexo C.

Canalización de las Bandas VHF y UHF

Anexo D.

Características técnicas de Equipos de producción.

Anexo E.

Distribución de bandas de Frecuencias en Ecuador