



**Implementación de un sistema de recepción de una señal de emergencia EWBS utilizando la
Plataforma de Radio Definida por Software para el estándar ISDB-Tb**

Castillo Flores, Raham Dair

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y
Telecomunicaciones

Ing. Olmedo Cifuentes, Gonzalo Fernando, PhD.

20 de agosto del 2021



Document Information

Analyzed document	Proyecto_de_grado_Raham_Castillo.pdf (D111758546)
Submitted	8/27/2021 5:39:00 PM
Submitted by	
Submitter email	biblioteca@espe.edu.ec
Similarity	8%
Analysis address	ilbbioteca.GDC@analysis.arkund.com



Sources included in the report

W	URL: http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24173/1/T-ESPE-044408.pdf Fetched: 7/19/2021 4:31:50 AM		3
W	URL: https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9602/1/T-ESPE-048600.pdf Fetched: 3/5/2021 12:17:09 AM		8
W	URL: http://www.telemidia.puc-rio.br/~rafaeldiniz/public_files/normas/SBTVD/es/Multiplexacion/ABNTNBR15603_2D1_2007Esp_2008.pdf Fetched: 8/27/2021 5:40:00 PM		2
W	URL: https://www.cedia.edu.ec/es/proyectos-ganadores/cepra-xii/desarrollo-de-un-prototipo-de-alerta-temprana-usando-ewbs-y-contenidos-interactivos-en-tv-digital-para-minimizar-el-riesgo-de-afectacion-a-la-poblacion-en-caso-de-fenomenos-naturales Fetched: 8/27/2021 5:40:00 PM		2
SA	TrabajoDeTitulacionJORDYGARZON.pdf Document TrabajoDeTitulacionJORDYGARZON.pdf (D34821326)		12
W	URL: https://github.com/Jordyggg/gr-oneseg.git Fetched: 8/27/2021 5:40:00 PM		5
W	URL: https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33245/Fuentes%20Muela.pdf?sequence=1&isAllowed=y Fetched: 7/1/2021 2:50:16 AM		1
W	URL: http://docplayer.es/179814609-Facultad-de-ingenieria-y-ciencias-aplicadas-analisis-de-la-migracion-para-un-canal-de-television-analogico-a-una-solucion-tdt-en-el-ecuador.html Fetched: 3/22/2021 7:37:45 PM		1
W	URL: https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/ciencia/article/download/326/439 Fetched: 8/27/2021 5:40:00 PM		3
W	URL: http://www.telemidia.puc-rio.br/~rafaeldiniz/public_files/normas/SBTVD/es/Receptores/ABNTNBR15604_2007Esp_2008.pdf Fetched: 8/27/2021 5:40:00 PM		4
W	URL: https://docplayer.es/63091929-La-norma-isdb-t-y-un-receptor-implementado-en-sdr.html Fetched: 11/21/2019 9:12:48 PM		6



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "Implementación de un sistema de recepción de una señal de emergencia EWBS utilizando la Plataforma de Radio Definida por Software para el estándar ISDB-Tb" fue realizado por el señor Castillo Flores, Raham Dair el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 27 de agosto del 2021

Firma:



Firmado digitalmente por:
GONZALO FERNANDO
OLMEDO CIFUENTES

Ing. Olmedo Cifuentes, Gonzalo Fernando, PhD.

C. C.: 1711696342



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Castillo Flores, Raham Dair**, con cédula de ciudadanía n° 1724401052, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Implementación de un sistema de recepción de una señal de emergencia EWBS utilizando la Plataforma de Radio Definida por Software para el estándar ISDB-Tb** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 27 de agosto del 2021

Firma

.....
Castillo Flores, Raham Dair

C.C.: 1724401052



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **Castillo Flores, Raham Dair**, con cédula de ciudadanía n° 1724401052, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Implementación de un sistema de recepción de una señal de emergencia EWBS utilizando la Plataforma de Radio Definida por Software para el estándar ISDB-Tb** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 27 de agosto del 2021

Firma

.....
Castillo Flores, Raham Dair

C.C.: 1724401052

Dedicatoria

Dedico este proyecto de investigación a mis padres, Bertha y Lincon quienes con su esfuerzo y ahínco me han sabido apoyar y orientar en todo momento siendo el pilar fundamental en mi vida y ser mi inspiración para conseguir todas mis metas. A mi hermana Cinthya por su apoyo en las diferentes etapas de mi vida y su cariño incondicional. A Gissela por brindarme su amor, creer siempre en mí y darme su apoyo absoluto.

Este logro en mi vida es por y para ustedes.

Raham Dair Castillo Flores

Agradecimiento

Agradezco a Dios por mantenerme con salud, fuerza y sabiduría para permitirme culminar con éxito esta etapa de mi vida y cumplir con el objetivo por los cuales mis padres se han esforzado para darme todo lo necesario.

A mi mami Bertha Ermelinda Flores Vera, por todo su amor, sacrificio, por velar por mi salud y la de mi hermana por encima de la suya. Quiero decirte que has sido y serás mi motivación para toda la vida y por la cual seguiré esforzándome cada día. Admiro tu fortaleza mujer trabajadora.

A mi papá Fredy Lincon Castillo Toapanta por trabajar día a día incansablemente para darnos lo mejor y apoyarme en este camino, por eso estoy seguro que seré un buen profesional y sobre todo por forjarme valores y pasión por el trabajo junto a mi madre.

A mi hermana Cinthya por preocuparse siempre por mí, apoyarme en cada paso de la vida y brindarme oportunidades para seguir creciendo.

A mi novia Gissela por haber permanecido a mi lado y apoyarme cada día y en cada decisión que tome, por su valiosa confianza y comprensión en momentos difíciles.

A mi familia y amigos en general con los cuales he compartido hermosas experiencias, agradecerles porque estuvieron en mi camino para hacer de mí una mejor persona y apoyarme en todo momento.

Finalmente, quiero agradecer de manera especial a mi director de Tesis, al Ing. Gonzalo Olmedo por su paciencia, consejos y enseñanzas valiosas, por su tiempo brindado y sobre todo por creer en mí y brindarme la oportunidad de participar en este proyecto, a pesar de no haber sido su alumno y por permitirme ser partícipe de gratas experiencias con el Ing. Román Lara, el Ing. Freddy Acosta y las personas de Japón con los equipos de EWBS y también agradecer a todos los docentes de la carrera.

Raham Dair Castillo Flores

ÍNDICE DE CONTENIDO

Dedicatoria.....	2
Agradecimiento.....	7
Resumen	17
Abstract.....	18
Capítulo I.....	19
Introducción.....	19
Antecedentes	19
Justificación e importancia.....	21
Alcance del Proyecto.....	22
Objetivos.....	23
Objetivo General	23
Objetivos Específicos.....	23
Trabajos relacionados	24
Organización	26
Capítulo II.....	28
Fundamento Teórico.....	28
Introducción.....	28
Televisión Digital Terrestre	28
Estándar del Sistema Brasileño de Televisión Digital (ISDB-Tb)	28
Sistema de Recepción para One-Seg.....	30

Transport Stream	39
Tablas PSI/SI	43
Información del TMCC.....	49
BTS (Broadcast Transport Stream)	51
Sistema de Alerta de Emergencia en el estándar ISDB-T.....	53
Introducción.....	53
Emergency Warning Broadcasting System (EWBS)	54
Introducción.....	54
Sistema General de EWBS analógico.....	55
EWBS para Radiodifusión digital	57
Generalidades para la transmisión de EWBS.....	57
Generalidades para la recepción de EWBS.....	58
Descriptor de información de la emergencia	59
Códigos de Área	62
Sobreimposición.....	65
Flag de activación del TMCC.....	65
Radio Definida por software (SDR).....	67
Introducción.....	67
Equipo de Radio Definida por Software Adalm-Pluto	69
Arquitectura del Adalm-Pluto	74

	10
Software.....	78
GNU Radio.....	78
Capítulo III.....	83
Diseño e implementación del sistema de recepción de una señal de emergencia en el estándar ISDB-Tb	83
Introducción.....	83
Arquitectura del Sistema.....	83
Escenario del sistema	84
Diseño e implementación del algoritmo de recepción de One-seg para la lectura del mensaje de emergencia	86
Descripción.....	86
Grabador de la señal (TS)	93
Algoritmo de recepción One-Seg	95
Algoritmo para la lectura de la información de emergencia	98
Escenario del sistema con la visualización del texto de superposición	106
Funcionamiento del Proyecto	109
Capítulo IV.....	111
Análisis de resultados	111
Recepción de video y extracción de características del descriptor de la información de emergencia	111
Recepción del mensaje de emergencia y visualización en una LCD	121

Análisis de la señal de recepción	125
Capítulo V.....	135
Conclusiones y Recomendaciones	135
Conclusiones	135
Recomendaciones	137
Trabajos Futuros	138
Referencias	139
Anexos	146

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Distribución de los estándares del Sistema de Televisión Digital Terrestre alrededor del mundo</i>	30
Figura 2 <i>Visión General del Sistema de Recepción de TDT</i>	31
Figura 3 <i>Procesamiento de la señal de un receptor para One-Seg</i>	33
Figura 4 <i>Procesamiento de la señal para la recepción de un segmento en el modo 3</i>	35
Figura 5 <i>Transmisión Jerárquica y formación de cuadros OFDM</i>	37
Figura 6 <i>Puntos de medición del BER en receptores</i>	39
Figura 7 <i>Multiplexación del Transport Stream</i>	40
Figura 8 <i>Formación de ES, PES y TS</i>	41
Figura 9 <i>Formato de un paquete TS con la descripción de la cabecera</i>	42
Figura 10 <i>Estructura de datos de la Tabla PAT</i>	44
Figura 11 <i>Estructura de datos de la Tabla PMT</i>	45
Figura 12 <i>Estructura del descriptor de emergencia ('0xFC')</i>	46
Figura 13 <i>Estructura de datos de la Tabla CAT</i>	47
Figura 14 <i>Estructura de datos de la Tabla NIT</i>	48
Figura 15 <i>Estructura de datos de la Tabla SDT</i>	49
Figura 16 <i>Re-multiplexación del Transport Stream</i>	52
Figura 17 <i>Estructura del paquete de transporte BTS</i>	53
Figura 18 <i>Función básica de EWBS</i>	55
Figura 19 <i>Configuración general del sistema de EWBS analógico</i>	56
Figura 20 <i>Ejemplo de operación de transmisión de EWBS con 4 servicios</i>	58
Figura 21 <i>Sintaxis de la información del descriptor de emergencia</i>	61
Figura 22 <i>Codificación de Ecuador en función del código de 3 caracteres</i>	62

Figura 23 <i>Escenario de la recepción One-seg en dispositivos portátiles</i>	66
Figura 24 <i>Bandera de emergencia en el TMCC para One-seg</i>	67
Figura 25 <i>Equipo de Radio Definida por Software (SDR) Adalm-Pluto</i>	70
Figura 26 a) <i>Vista frontal del SDR Adalm-Pluto, b) Vista superior e inferior del SDR Adalm-Pluto, c) Antenas GSM del transmisor y receptor</i>	71
Figura 27 a) <i>Cable USB a micro USB 2.0, b) Conector SMA macho y SMA hembra</i>	71
Figura 28 <i>Diagrama de bloques simplificado del equipo Adalm-Pluto desde la carcasa, b) Entradas/Salidas (I/O) en el Adalm-Pluto</i>	72
Figura 29 <i>Diagrama de bloques simplificado del Adalm-Pluto</i>	75
Figura 30 <i>Diagrama de bloques del AD9363</i>	76
Figura 31 <i>Arquitectura del Zynq-7000 SoC</i>	77
Figura 32 <i>Programación en GNU Radio</i>	80
Figura 33 <i>Entorno de GNU Radio Companion</i>	81
Figura 34 <i>Diagrama de bloques del sistema general</i>	84
Figura 35 <i>Escenario del sistema</i>	85
Figura 36 <i>Algoritmo de recepción One-seg con el sistema de alerta de emergencia</i>	88
Figura 37 <i>Módulos gr-isdbt, gr-oneseg y gr-mer</i>	89
Figura 38 <i>PlutoSDR Source a) Propiedades b) Bloque de procesamiento</i>	90
Figura 39 <i>PlutoSDR Sink a) Propiedades b) Bloque de procesamiento</i>	92
Figura 40 <i>Algoritmo para recibir una señal y grabarla</i>	93
Figura 41 <i>Receptor One-Seg sin los bloques de procesamiento para la lectura de la emergencia</i> 97	
Figura 42 <i>Bloques generados para la lectura del mensaje de emergencia EWBS</i>	98
Figura 43 <i>Diagrama de flujo general del bloque Read EWBS</i>	100
Figura 44 <i>Diagrama de flujo del descriptor 1 (Descriptor de información de emergencia)</i>	102

Figura 45 Diagrama de flujo que envía la activación de la bandera de emergencia	103
Figura 46 Diagrama de flujo que lee el paquete del texto sobreimposición	105
Figura 47 Escenario del sistema que visualiza la emergencia (texto de sobreimposición).....	107
Figura 48 Esquema para la lectura y visualización de la emergencia	108
Figura 49 Representación física del visualizador de la emergencia en Tinkercad	108
Figura 50 Montaje del visualizador de emergencia vista desde su parte interna y superior	109
Figura 51 Escenario del sistema de recepción EWBS	112
Figura 52 Picos que indican el inicio de la sincronización del símbolo OFDM	113
Figura 53 Señal ocasionada por la configuración errónea del modo de operación	114
Figura 54 Impresión de los parámetros del TMCC	114
Figura 55 Impresión de la estructura de la tabla PMT del TS recibido	115
Figura 56 Impresión de la información de la tabla PMT del TS recibido con el descriptor de superimposición y el código QR de la ejecución del algoritmo (MV OFDM, TMCC y Tabla PMT)	116
Figura 57 Descriptor de la información de emergencia y lista de los códigos de área.....	117
Figura 58 Lista de Códigos de Área almacenados en un archivo de Excel	118
Figura 59 Activación del Flag EWBS y código QR de la extracción de los códigos de área y el Flag EWBS.....	119
Figura 60 Creación del archivo FIFO y reproducción del video en ffmpeg.....	119
Figura 61 Reproducción del video y recepción de la señal de One-Seg con el código QR.....	120
Figura 62 Escenario del sistema de recepción y visualización de la emergencia	121
Figura 63 Mensaje de Emergencia (texto de sobreimposición) con el mensaje de Perú	122
Figura 64 Mensaje de emergencia almacenado en el archivo de texto con el mensaje de Perú.	122
Figura 65 Mensaje de Emergencia (texto de sobreimposición) con el mensaje de Ecuador	122

Figura 66 Mensaje de emergencia almacenado en el archivo de texto con el mensaje de Ecuador y código QR de la extracción del mensaje	123
Figura 67 Visualización del mensaje de emergencia y código QR de la recepción en tiempo real	124
Figura 68 Ejecución del algoritmo de recepción en línea a 3m de distancia	125
Figura 69 Resultados de las medidas objetivas para una P_x de -60 dBm y -90 dBm.....	126
Figura 70 Valores de MER en dB obtenidos para el sistema propuesto	127
Figura 71 Valores de SNR en dB obtenidos para el sistema propuesto	129
Figura 72 Valores de BER de Viterbi obtenidos para el sistema propuesto.....	130
Figura 73 Resultados del BER de Viterbi en escala logarítmica	131
Figura 74 Valores de BER de Reed Solomon obtenidos para el sistema propuesto	132
Figura 75 Resultados del BER de Reed Solomon en escala logarítmica	132
Figura 76 Constelaciones obtenidas en la recepción en un segmento para los niveles de potencia de -95 a -80 dBm	133
Figura 77 Constelaciones obtenidas en la recepción en un segmento para todos los niveles de potencia de -75 a -60 dBm	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Parámetros del sistema de transmisión ISDB-Tb</i>	36
Tabla 2 <i>Información del TMCC</i>	50
Tabla 3 <i>Información de los parámetros de transmisión para cada capa</i>	51
Tabla 4 <i>Estándares para el descriptor de EWBS</i>	60
Tabla 5 <i>Información de la estructura del TS, PMT y el descriptor de EBWS</i>	60
Tabla 6 <i>Códigos de cada país para señal de EWBS</i>	63
Tabla 7 <i>Códigos de área definidos por el Ecuador en la provincia de Pichincha para EWBS</i>	64
Tabla 8 <i>Señalización de la sobreimposición</i>	65
Tabla 9 <i>Flag de activación de EWBS en el TMCC</i>	66
Tabla 10 <i>Dispositivos SDR encontrados en el mercado</i>	68
Tabla 11 <i>Descripción del bloque PlutoSDR Source (Receptor)</i>	91
Tabla 12 <i>Descripción del bloque PlutoSDR Sink (Transmisor)</i>	92
Tabla 13 <i>Canalización de las Bandas de Radiodifusión para TDT</i>	112
Tabla 14 <i>Resumen de las medidas objetivas en el rango de -60 dBm a -95 dBm</i>	127

Resumen

Nos encontramos en un planeta donde gran parte de la superficie está comprendido por terrenos irregulares y el Ecuador es uno de los países que está ubicado dentro del llamado “Cinturón de Fuego del Pacífico”, siendo uno de los países más propensos a sufrir de actividad sísmica y volcánica, generándose de esta manera una gran variedad de fenómenos físicos. Es por esta razón que, ante alguna eventualidad de desastres naturales, un sistema de alerta temprana SAT usando EWBS (en inglés, *Emergency Warning Broadcasting System*) y contenidos iterativos de Televisión Digital pueden disminuir el riesgo de afectación a la población en el caso de fenómenos naturales. El uso de receptores de EWBS para TDT permiten emitir señales por medio de Broadcast con audio y video alertando a la población de alguna eventualidad. El presente proyecto de investigación se propone la implementación de un receptor de televisión digital terrestre que permita detectar señales de EWBS, utilizando una plataforma de Radio Definida por Software USRP, adaptando a la solución a una plataforma SDR ADALM-PLUTO de bajo costo utilizando el software GNU Radio, el cual analice la señal de emergencia y logre detectar el mensaje enviado, separando el TS (en inglés, Transport Stream) para extraer la información del Sistema de Alerta de Emergencia bajo el estándar ISDB-Tb.

PALABRAS CLAVE:

- **EWBS**
- **ADALM-PLUTO**
- **ISDB-TB**
- **RECEPCIÓN**
- **DESCRIPTOR**

Abstract

We find ourselves on a planet where a large part of the surface is made up of irregular terrain and Ecuador is one of the countries located within the so-called "Circum-Pacific Belt", being one of the countries most prone to seismic and volcanic activity, thus generating a wide variety of physical phenomena.

For this reason, in the event of natural disasters, a SAT early warning system using EWBS (Emergency Warning Broadcasting System) and iterative Digital TV content can reduce the risk of affecting the population in the event of natural phenomena. The use of EWBS receivers for DTT allows the broadcasting of signals with audio and video alerting the population of any eventuality.

This research project proposes the implementation of a digital terrestrial television receiver to detect EWBS signals, using a USRP Software Defined Radio platform, adapting the solution to a low-cost ADALM-PLUTO SDR platform using GNU Radio software, which analyses the emergency signal and manages to detect the message sent, separating the TS (Transport Stream) to extract the information from the Emergency Alert System under the ISDB-Tb standard.

KEYWORDS

- **EWBS**
- **ADALM-PLUTO**
- **ISDB-TB**
- **RECEPTION**
- **DESCRIPTOR**

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

El territorio ecuatoriano al estar situado en las costas del océano Pacífico se encuentra atravesado por la Cordillera de los Andes a todo lo largo de la Sierra ecuatoriana siendo parte del Cinturón de Fuego del Pacífico, el cual concentra algunas de las actividades de gran intensidad sísmica y volcánica provocando terremotos en los diferentes países que conforman el cinturón. También el Ecuador ha sido partícipe del Fenómeno del Niño el cual es producido por un calentamiento del océano pacífico ocasionando intensas lluvias, deslizamientos, inundaciones, incendios forestales, etc. en diferentes zonas del país.

En los últimos años el Ecuador ha sufrido varios desastres naturales, por lo cual el ser humano debe estar preparado. El volcán Cotopaxi ha permanecido en constante actividad desde el año 1976 debido a sus frecuentes erupciones y emisiones de ceniza, reportándose su última actividad en el año 2015 (IGEPN, 2016). A su vez en el año 2016 se suscitó uno de los desastres naturales en el Ecuador de gran escala, un sismo de magnitud 7.8 en Pedernales provincia de Manabí alcanzando grandes cifras de fallecidos, heridos y personas desaparecidas (IGEPN, 2016).

Con base a lo anterior el IGEPN (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional) que es el principal centro de investigación de diagnóstico y monitoreo de actividad sísmica y volcánica en el Ecuador menciona que el volcán Cotopaxi es uno de los volcanes más peligrosos por sus constantes erupciones, además de los volcanes Tungurahua y Sangay (IGPEN, 2020).

El Ecuador actualmente se encuentra en un proceso para la implementación de la Televisión Digital Terrestre (TDT), el mismo que permitirá mejorar la calidad de video, imagen y sonido accediendo a un mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico (MINTEL, 2017).

Luego de varias recomendaciones para la inclusión de la TDT, el Ecuador decide adoptar el estándar ISDB-T con mejoras brasileñas, denominado ISDB-T internacional o ISDB-Tb, en marzo del 2010 (ISDB-T, 2008).

ISDB-T fue estandarizado por la ARIB (en inglés, *Association of Radio Industries and Businesses*) e introducido en Japón desde diciembre del 2003 (ISDB-T, 2008). La adopción de ISDB-T presenta ventajas como la transmisión simultánea de HDTV y One-seg que está destinado para receptores móviles. También todos los países que adoptaron la norma ISDB-T forman parte del Foro Internacional ISDB-T, el mismo que define la estructura del Sistema de Alerta de Emergencia EWBS (*Emergency Warning Broadcasting System*), incluyendo los códigos de área de todos los países y el formato del texto de superimposición en la recepción de ISDB-T a través del Documento de Armonización Parte 3 (ISDB-T International, 2015).

Durante los últimos años, se han desarrollado varias aplicaciones y prototipos de sistemas de alerta de emergencia en la Televisión Digital Terrestre (TDT), como una manera de mitigar o disminuir el impacto de estos desastres naturales.

El sistema EWBS tuvo sus inicios en Japón con el EWBS analógico desde el 1 de septiembre de 1985, el que 2 años más tarde fue utilizado para dar un aviso oportuno sobre la alerta de un tsunami. Posteriormente a ello en el año 2000 se implantó EWBS digital para la radiodifusión por satélite y en el año 2003 para la radiodifusión terrestre en Japón hasta la actualidad y previniendo desastres naturales en más de 15 ocasiones (PROMAX, 2017).

Uno de los trabajos realizados en colaboración con expertos JICA (en inglés, *Japan International Cooperation Agency*) se lo realizó en Perú, convirtiéndose en el primer país de Latinoamérica en realizar pruebas exitosas para la implementación del Sistema de Radiodifusión de Alerta de Emergencia (EWBS) además de Japón, con el mejoramiento de equipos para la Gestión de Riesgos y Desastres. Las pruebas de demostración de EWBS fueron transmitidas por

el Canal Estatal de Perú (IRTP), recibiendo la señal de EWBS en los televisores de poblaciones costeras de su país que tenían la tecnología (JICA, 2016).

A partir del año 2015 el grupo de investigación de televisión digital y WiCOM-Energy de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE ha desarrollado prototipos de transmisión y recepción del sistema EWBS para pruebas de campo en la ciudad de Quito en canales comerciales (Olmedo, Acosta, Haro, Villamarín, & Benavides, 2019), (Olmedo, Sambrano, Acosta, & Paredes, 2021), (Olmedo, y otros, 2021).

Es por ello que es inminente la búsqueda y creación de nuevos sistemas que permitan transmitir información de un Sistema de Alerta Temprana (SAT), por lo que, con base a esa premisa, en este trabajo se presenta una propuesta que realice pruebas de laboratorio para la recepción de la señal de EWBS y darle utilidad a la información contenida en el TS (*Transport Stream*).

Justificación e importancia

La actividad sísmica y volcánica son algunos de los desastres naturales que permanentemente amenazan el desarrollo normal del ecosistema, produciendo grandes pérdidas materiales, económicas y vidas humanas al suscitarse alguno de estos eventos. Las aplicaciones iterativas, así como los Sistemas de Radiodifusión de Alerta de Emergencias (EWBS) son compatibles con el estándar ISDB-Tb de Televisión Digital Terrestre (TDT), los cuales permite mostrar recursos audiovisuales para brindar información necesaria y concisa a posibles dudas e inquietudes de la población.

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE ha venido trabajado continuamente en proyectos enfocados en EWBS, realizando trabajos sobre el diseño de un sistema de monitoreo y transmisión de señales de alerta para Televisión Digital Terrestre y pruebas de un prototipo de alerta temprana usando EWBS conjuntamente con otras universidades del país con el estándar

ISDB-Tb, colaborando con entidades gubernamentales y empresas privadas (Segura A. , Olmedo, Acosta, & Santillán, 2015), (Olmedo, Acosta, Haro, Villamarín, & Benavides, 2019), (Olmedo, Sambrano, Acosta, & Paredes, 2021), (Olmedo, y otros, 2021).

Se han realizado trabajos de investigación del estándar ISDB-Tb con el dispositivo USRP 2920, siendo un equipo robusto y de gran costo al implementar un receptor One-seg utilizando la Plataforma de Radio Definida por Software estableciendo como una de las mejores opciones la utilización de GNU Radio para recuperar la señal en tiempo real en el estándar ISDB-Tb (Garzón, 2018), (Olmedo & Garzón, Partial ISDB-Tb receiver implemented on a software defined radio platform, 2018).

Por lo tal motivo, se propone la utilización del SDR ADALM-PLUTO de bajo costo como plataforma de hardware y la tecnología de Radio Definida por Software. A partir de un receptor de One-Seg se podría estudiar las señales móviles y el mensaje de alerta de emergencia, recuperando la información del TS en tiempo real de un segmento, analizando la calidad de la señal de acuerdo a medidas objetivas y colaborando de esta manera a la comunidad de investigadores que se centran en trabajos de investigación de señales de EWBS y Televisión Digital.

La contribución que se realiza con este trabajo es la implementación de un sistema que recepta la señal de alerta de emergencia utilizando software libre y hardware de bajo costo para extraer y visualizar la información de emergencia en el TS.

Alcance del Proyecto

Con el presente proyecto de investigación se busca generar un receptor fiable y eficaz en el estándar ISDB-Tb, que sirva para analizar las señales de emergencia EWBS en un canal de televisión digital, con el desarrollo de un algoritmo de procesamiento robusto en el software GNU Radio y el hardware SDR ADALM-PLUTO para extraer la información del sistema de alerta

de emergencia contenida en el descriptor de emergencia y el mensaje de emergencia del texto de superimposición.

El algoritmo de recepción desarrollado en GNU Radio fue diseñado, de tal manera que exista un control en la recepción One-seg que se adapte a la extracción de características de EWBS del flujo de transporte (TS - *Transport Stream*) guardando la información en archivos de texto.

El algoritmo no solamente permite la recepción EWBS sino también tiene la funcionalidad de ser un analizador del estándar de TDT en One-seg destinado para servicio móvil, con la visualización de distintos parámetros como, la tabla PMT cumpliendo la función de ser un analizador de dicha tabla, el TMCC que muestra la información de los parámetros de transmisión y la activación del bit 26 correspondiente a la bandera de emergencia, además de ciertas métricas técnicas como la potencia de recepción, MER, BER, SNR y otros parámetros.

Finalmente, para verificar el funcionamiento del proyecto se realiza pruebas en el laboratorio de Televisión Digital de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE con equipos de transmisión propios del laboratorio, los mismos que son procesados con el algoritmo de recepción. Se visualiza la reproducción del video con *ffmpeg*, el mensaje de emergencia en una LCD (display) y la información de emergencia en archivos de texto.

Objetivos

Objetivo General

Implementar un sistema que adapte una señal de emergencia de EWBS utilizando una plataforma de Radio Definida por Software para el estándar ISDB-Tb, el cual detecte los códigos de área y el mensaje de alerta de emergencia recuperando la información del TS.

Objetivos Específicos

- Analizar la estructura de un receptor bajo el estándar ISDB-Tb.

- Valorar las características técnicas de los SDR para la implementación del proyecto en el software GNU Radio en una distribución de Linux.
- Implementar un receptor ISDB-Tb en una plataforma SDR.
- Implementar en el receptor diseñado un algoritmo que extraiga el Transport Stream del Sistema de Alerta Temprana EWBS.
- Realizar pruebas de funcionamiento del algoritmo implementado para la detección de señales de EWBS con diferentes niveles de potencia en un canal de televisión digital.
- Evaluar el desempeño del sistema en función de la calidad de recepción de audio y video, extracción del mensaje del Sistema de Alerta de Emergencia en un canal de televisión digital con base a métricas objetivas.

Trabajos relacionados

Un proyecto que busca mejorar el sistema de alerta temprana fue el trabajo para el monitoreo y emisión de señales de alerta temprana para TDT utilizando el software Netbeans, el mismo que modificaba los códigos de área para la generación de un archivo de Transport Stream (TS) que son enviados a través del software StreamXpress para transmitir la señal y sea receptada por un decodificador de EWBS y así, visualizar la emergencia en el equipo de televisión digital (Segura & Olmedo, 2015).

Otra propuesta para la trasmisión de alertas de emergencia EWBS fue desarrollada en la Universidad de Riobamba el cual presenta un diseño utilizando la plataforma de Villageflow para emitir alertas de emergencias controladas por medio de una aplicación móvil para televisión digital terrestre bajo el estándar ISDB-Tb (Navarrete, 2016).

Una de las propuestas realizadas por docentes de las Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE consistió en la realización de un servidor EWBS que permite la modificación de las tablas PSI para la transmisión de algunos códigos de área. En el artículo titulado "Broadcast

Testing of Emergency Alert System for Digital Terrestrial Television EWBS in Ecuador” se realizó pruebas de campo en la ciudad de Quito en tiempo real (Olmedo, Acosta, Haro, Villamarín, & Benavides, 2019).

Dentro de los proyectos más recientes es el trabajo colaborativo entre la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, la Universidad de Cuenca y la Universidad Técnica de Machala con la presentación de un prototipo para CEPRA-CEDIA sobre una alerta temprana usando EWBS y contenidos iterativos de televisión digital para poder apoyar a la Gestión de Riesgos en el Ecuador realizando sus primeras pruebas en el canal de Telesucesos (CEPRA-CEDIA, 2020), (Olmedo, y otros, 2021).

Uno de los últimos trabajos de investigación enfocados a EWBS en la Universidad de las Fuerzas Armadas fue sobre el “Diseño e implementación de una interfaz que adapte una señal de emergencia de televisión digital a la Red Telefónica IP de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE” que consistía en adaptar la señal de EWBS tomada de un decodificador de TDT para insertarla en la Red Telefónica IP de la universidad utilizando Asterisk, y así enviar inmediatamente una llamada al usuario a través del Informacast de la Universidad (Sambrano, 2019), (Olmedo, Sambrano, Acosta, & Paredes, 2021).

Finalmente, al tratarse este trabajo de investigación de un sistema que recepte la señal de EWBS utilizando una plataforma de Radio Definida por Software se presenta dos trabajos en los que se enfoca la implementación de este proyecto. Luego de la adopción de ISDB-T en varios países de América del Sur este proyecto ejecuta la norma ISDB-T en un dispositivo SDR basado en software y completamente abierto generando el módulo gr-isdbt para GNU Radio con un receptor de One-seg y Full-seg (Flores P. , 2016). Posterior a ello, la Universidad de las Fuerzas Armadas toma como base el modelo del receptor One-seg empleando la Plataforma de Radio Definida por Software y establece ciertas mejoras al modelo de gr-isdbt para mantener un

sistema de recepción controlado que a la vez permita determinar la calidad de la recepción a través de medidas objetivas utilizando el USRP-2920 y generando el módulo gr-oneseg (Garzón, 2018).

Organización

El presente trabajo de investigación está conformado por cinco capítulos que se encuentran organizados de tal manera que facilite la interpretación y lectura.

Capítulo I. *Introducción:* Este capítulo describe brevemente los antecedentes, justificación e importancia, el alcance del proyecto, los objetivos que se desea cumplir y trabajos relacionados a este tema de investigación, además de la organización del contenido que componen este proyecto.

Capítulo II. *Fundamento Teórico:* Este capítulo abarca los temas principales que deben ser de conocimiento para entender el sistema a implementarse, desde el estándar, las tablas PSI, la información del sistema de alerta de emergencia hasta el equipo SDR ADALM-PLUTO y el software GNU Radio.

Capítulo III. *Diseño e implementación del sistema de recepción de una señal de emergencia en el estándar ISDB-Tb:* En este capítulo se explica el proceso para la implementación de la recepción de la señal EWBS con base a los objetivos planteados. Se detalla el algoritmo de procesamiento elaborado en GNU Radio como el desarrollo de los bloques de procesamiento programados en lenguaje python para extraer la información de emergencia.

Capítulo IV. *Análisis de resultados:* En este capítulo se describe los resultados obtenidos del algoritmo de recepción de la señal EWBS, mediante pruebas de funcionamiento del escenario del sistema con la lectura del TS que contiene los códigos de área, la activación de la emergencia, el mensaje de emergencia (texto de superposición) y mediante las métricas objetivas.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones: En el último capítulo se detalla las conclusiones y recomendaciones, después de haber realizado el análisis de resultados en función de los objetivos planteados y se propone algunos trabajos a futuro como también aquellos trabajos que pueden dar continuidad al desarrollo completo de este proyecto.

Capítulo II

Fundamento Teórico

Introducción

En el presente capítulo se describe el proceso de demodulación de One-Seg bajo el estándar ISDB-Tb y conceptos referentes a las medidas de calidad en el proceso de recepción. Además, se analiza el Transport Stream donde se encuentra el Sistema de Radiodifusión de Alerta de Emergencia (*Emergency Warning Broadcasting System*). La tecnología utilizada como hardware para la implementación del receptor EWBS que es el SDR Adalm-Pluto y la Plataforma de Radio Definida por Software como lo es GNU Radio.

Televisión Digital Terrestre

La Televisión Digital Terrestre (TDT) permite dar un paso adelante de los sistemas analógicos a digitales, debido a que tiene muchas mejoras en cuanto al uso eficiente del espectro radioeléctrico al permitir transmitir mediante multiplexación las señales de televisión abierta. Con la TDT se consiguen mejoras de la capacidad de transmisión, calidad de video, imagen y sonido, con esto se puede utilizar el espectro sobrante para otro tipo de servicios audiovisuales e interactivos eliminando las interferencias de la televisión analógica.

El Ecuador actualmente se encuentra en este proceso de transición del sistema de televisión analógico a televisión digital desde el año 2016, pero aún no ha sido posible la finalización del mismo en su totalidad. Es por ello que MINTEL se encuentra ejecutando la transición hacia la Televisión Digital Terrestre en todo el país, con la finalidad de que la ciudadanía pueda acceder a nuevas tecnologías (MINTEL, 2017).

Estándar del Sistema Brasileño de Televisión Digital (ISDB-Tb)

El estándar ISDB-T e ISDB-Tb provienen de un conjunto de normas de transmisión japonesa como lo es ISDB (en inglés, *Integrated Service Digital Broadcasting*) también

conformada por ISDB-S para televisión digital, ISDB-C para televisión por cable, ISDB-Tmm para servicios multimedia y ISDB-Tsb radio digital.

El estándar de Transmisión Digital de Servicios Integrados – Terrestre o ISDB-T (en inglés, *Integrated Service Digital Broadcasting - Terrestrial*) es un sistema de radiodifusión digital creado y puesto en marcha por Japón para transmisión de televisión digital.

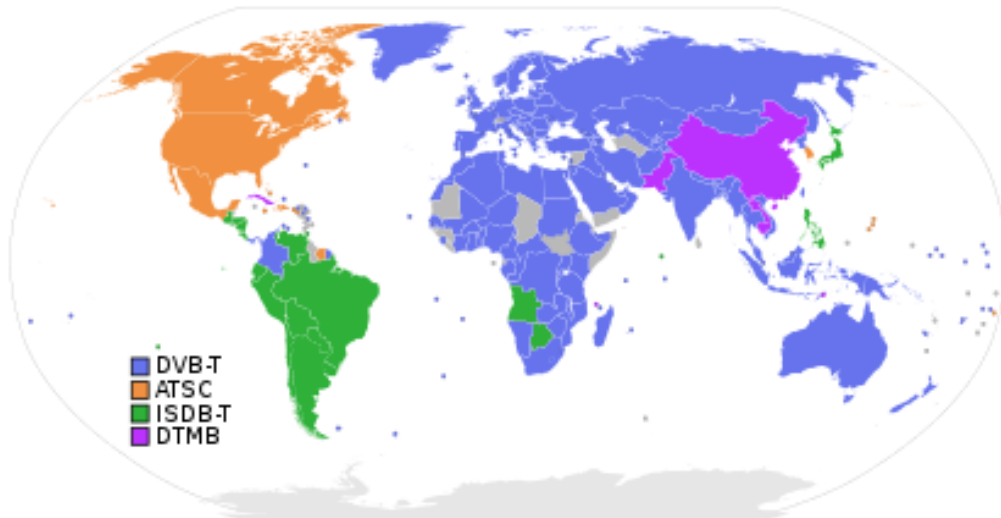
ISDB-Tb o también conocido como ISDB-T internacional es el estándar del Sistema Brasileño de Televisión Digital (SBTVD) para transmisión digital. Está basado en el estándar japonés ISDB-T con mejoras brasileñas para países de América del Sur entre ellos Ecuador y otros en todo el mundo, el cual difiere por el uso de compresión de video el estándar H.264/MPEG-4 AVC. ISDB-Tb permite recibir señales para receptores portátiles en bandas de TV One-Seg (computadores portátiles, telefonía móvil) y transmite simultáneamente programas de HDTV y One-Seg dentro del ancho de banda de 6 MHz.

El Foro Internacional de ISDB-T se encuentra conformado por un grupo de trabajo para el desarrollo y armonización de los estándares relacionados con: *Hardware* para especificaciones de los receptores de televisión digital terrestre, *Interactividad* y *Middleware* para especificaciones del modelo de referencia para permitir transmitir datos a los receptores de TDT y el Emergency Warning Broadcast System (EWBS) que resume las señales transmitidas por las estaciones y la interpretación de los receptores compatibles con EWBS (ISDB-T, 2008).

Además, existen otras familias de estándares a parte de ISDB-T en todo el mundo que implementan la televisión digital terrestre. Se tiene las siguientes normativas: la norma europea DVB (Digital Video Broadcasting), la norma norteamericana ATSC (Advanced Television Systems Committee) y la norma china DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcast). Cada uno de estos fueron implementado de acuerdo a decisiones de cada país. En la figura 1 se puede observar el Sistema de Televisión Digital Terrestre en todo el mundo.

Figura 1

Distribución de los estándares del Sistema de Televisión Digital Terrestre alrededor del mundo



Nota. La figura presenta los estándares de TDT. Tomado de Wikipedia, de Televisión Digital, 2021, Obtenido de:

https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Televisi%C3%B3n_digital&oldid=133401526

Sistema de Recepción para One-Seg

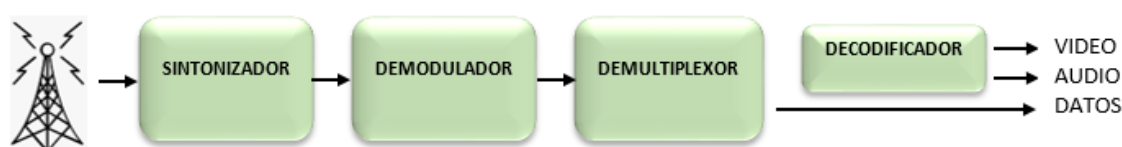
El sistema de televisión digital sin duda tiene a su disposición diferentes equipos para recibir las señales digitales empleando receptores compatibles con ISDB-Tb o un decodificador de TDT para aparatos analógicos como lo es el Set-Top-Box (STB), mismo que permite la recepción de TDT en los hogares con servicios interactivos y de alta definición. Además, la interactividad permite que los usuarios puedan recibir mensajes de texto a los programas.

En la figura 2 se muestra una visión general al sistema de recepción de ISDB-Tb. En primera instancia se tiene la antena de recepción junto a la etapa de sintonización de la señal recibida a la frecuencia en el rango de UHF o VHF donde la señal de radio frecuencia es convertida a frecuencia intermedia empleando un circuito de FI (Frecuencia Intermedia), luego se encuentra el demodulador que obtiene la señal en banda base en el que constan procesos

como la demodulación OFDM, la recuperación del sincronismo, la extracción de los cuadros OFDM y la FFT (en inglés, Fast Fourier Transform). Posterior a ello, está el demultiplexor que realiza todo el procedimiento para desencapsular el Transport Stream MPEG-2 con la separación de las tramas de control de las tramas deseadas, finalmente se muestra el decodificador que ejecuta la decodificación de audio y video respectivamente AAC y H.264 (Garzón, 2018).

Figura 2

Visión General del Sistema de Recepción de TDT



Nota. La figura muestra una el Sistema General de Recepción de TDT. Adaptada de Visión General del Sistema de Recepción, de Implementación de un Receptor One Seg, 2018

Procesamiento de la señal en los receptores para One-Seg

El procesamiento de la señal de un receptor para One-Seg es especificado en la norma (ABNT NBR 15604, 2007) para banda estrecha. La figura 3 muestra el esquema de procesamiento para la señal en los receptores para One-seg bajo un sistema ideal, mismo que será implementado en la plataforma de Radio Definida por Software con variaciones de acuerdo al SDR. A continuación, se realiza una breve descripción de cada uno de los bloques de acuerdo a ABNT NBR 15604.

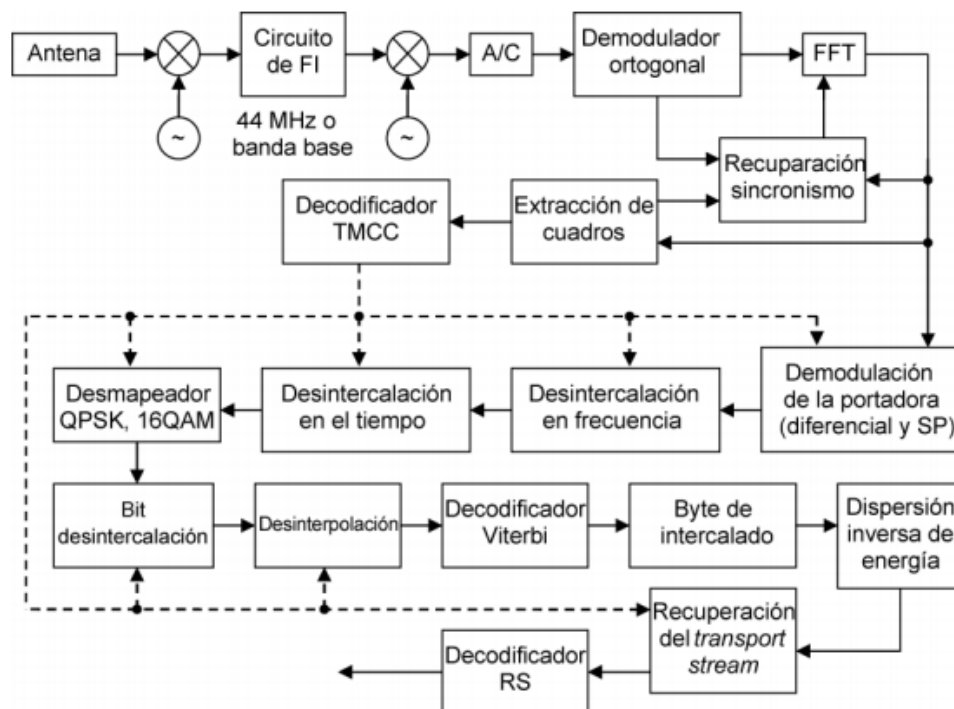
- **Selección de canales:** se especifica el canal de UHF o VHF para la recepción de One-Seg.
- **Demodulador Ortogonal:** obtiene las muestras de cada uno de los símbolos OFDM recibidos.
- **Recuperación del sincronismo:** la señal del canal y ortogonalmente desmodulada a través de la recuperación del sincronismo de los símbolos OFDM en la recepción y la

frecuencia de muestreo de la FFT son recuperadas en función del intervalo de guarda y el modo de operación para evitar errores en los receptores.

- **FFT:** la FFT es efectuada con una duración efectiva de un símbolo OFDM, para sistemas de múltiples portadoras convierte las muestras de tiempo en frecuencia.
- **Extracción de cuadros:** la señal de sincronización del cuadro OFDM es extraída a través de la señal del TMCC.
- **Decodificador del TMCC:** la información del TMCC contiene los datos del sistema de transmisión y se extrae de la señal del TMCC, mismo que es utilizado para el control de varios módulos. Dentro de la señal del TMCC se encuentra la bandera de emergencia.
- **Demodulación de la portadora:** de acuerdo a la información del TMCC, emplea demodulación diferencial DQPSK, demodulación síncrona a través de la colocación de la señal piloto (SP) utilizando QPSK, 16QAM o 64 QAM para supervisar la amplitud y la fase de la señal. Se emplea modulación QPSK en el receptor de One-Seg.
- **Desentrelazado:** se aplica desentrelazamiento en tiempo y frecuencia para evitar efectos de desvanecimiento selectivo, movilidad y portabilidad.
- **Desmapeador:** emplea el desmapeo de la señal de QPSK, 16QAM o 64QAM en función de la información de amplitud y fase, además extrae la información a nivel de bits.
- **División de niveles jerárquicos:** la información del TMCC indica la transmisión de forma jerárquica. La división se la realiza cada 204 bytes entre el byte de sincronización (0x47) del paquete de información del TS y el byte de sincronización del próximo paquete TS. Es decir, enruta cada TSP hacia cada capa jerárquica A, B o C.
- **Bit de intercalación:** cada nivel jerárquico ejecuta la desintercalación.
- **Bit de interpolación:** se ejecuta en función de la tasa de código convolucional en cada nivel jerárquico de acuerdo a la información del TMCC.

Figura 3

Procesamiento de la señal de un receptor para One-Seg



Nota. La figura muestra el diagrama de bloques del Sistema de Recepción de la señal para One-Seg. Tomado de Norma Brasileña ABNT NBR 15604 Televisión digital terrestre – Receptores, de Procesamiento de señal en el front-end para one-seg, 2007

- **Decodificador de Viterbi:** emplea un algoritmo de decisión para combatir errores ocasionados por los canales ruidosos para mejorar su desempeño. Además, el procesamiento es supervisado a través del byte de sincronización (0x47) del TS, que ya es de conocimiento. Además, One-Seg emplea una modulación QPSK con tasa de código de 2/3.
- **Byte entrelazado:** el desentrelazado es ejecutado para dar robustez a la señal byte por byte frente a fenómenos de desvanecimiento.
- **Dispersión inversa de energía:** la dispersión inversa de energía es empleado para evitar ráfagas de ceros o unos y es supervisado mediante una XOR a cada bit de entrada

exceptuando el byte de sincronización (0x47) del paquete TS. La palabra de inicialización 100101010000000 es reiniciada al inicio de cada cuadro OFDM.

- **Recuperación del TS:** el orden de los paquetes TS y la localización temporal del PCR que se tiene, debe ser iguales a los paquetes transmitidos. ISDB-T define EL Broadcast Transport Stream (BTS) comúnmente conocido como TS estándar que contiene 204 bytes.
- **Decodificador RS:** código RS (204,188), este decodificador remueve los 16 bytes del TSP (en inglés, Transport Stream Packet) y trasmite un TS de 188 bytes. Se encarga de la corrección de errores y eliminando redundancia.

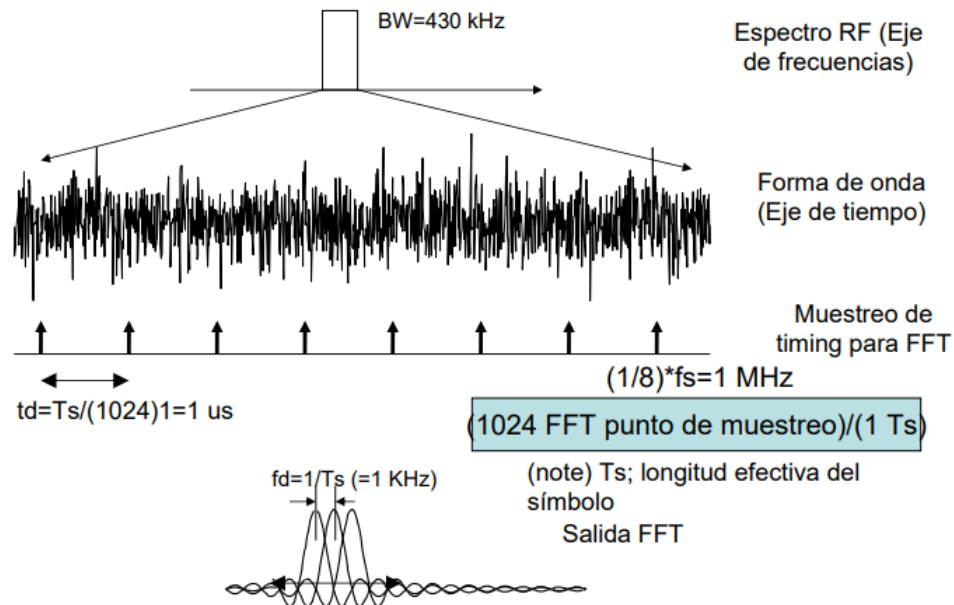
Consideraciones Generales

Las capas A, B, C son multiplexadas a través de OFDM (en inglés, Orthogonal Frequency Division Multiplexing) con un prefijo cíclico (CP), que se encuentra expresado en función de la duración del tiempo de símbolo (T_s) considerando los valores que puede tomar el periodo de guarda (T_g) de $1/4$, $1/8$, $1/16$ y $1/32$.

Los valores que maneja el estándar para la cantidad de portadoras son de 2048 (2^{11}), 4096 (2^{12}) y 8192 (2^{13}) modo de operación 1, 2 y 3 respectivamente. El segmento cero es utilizado para servicios de One-Seg (receptores móviles y de baja definición) y se encuentra en el centro del espectro. La frecuencia de muestreo para sistemas móviles es de $1/8$ de la frecuencia de muestreo del estándar correspondientes a la cantidad de portadoras (Olmedo & Garzón, Partial ISDB-Tb receiver implemented on a software defined radio platform, 2018). La figura 4 muestra el procesamiento de la señal para un segmento (recepción parcial) en el que la frecuencia de la FFT disminuye de 8192 a 1024 manteniendo la relación de $1/8$. En la misma se considera que el periodo de muestreo (t_d) es de aproximadamente de $1 \mu s$ (Takahashi, 2007).

Figura 4

Procesamiento de la señal para la recepción de un segmento en el modo 3



Nota. La figura muestra la recepción parcial en el modo 3. Tomado de Antecedentes técnicos de la recepción parcial de 1 segmento (One-Seg), de DiBEG, 2007

La frecuencia de muestreo para servicios de One-Seg es calculada en base a la ecuación (1) para el modo 3.

$$f_{S(1seg)} = \frac{N}{T_s} \quad (1)$$

Donde:

- $f_{S(1seg)}$: representa la frecuencia de muestreo para One-seg
- N : corresponde a la cantidad de portadoras FFT
- T_s : tiempo de símbolo (duración de símbolo activo)

La duración del símbolo activo se encuentra acorde del modo de operación que son: 252 μs (modo 1), 504 μs (modo 2) y 1008 μs (modo 3).

$$f_{S(1seg)} = \frac{1024 \text{ muestras}}{1008 \mu\text{s}} = \frac{64}{63} = 1.01578 \text{ MHz}$$

En la tabla 1 se detalla los parámetros principales para la codificación del canal de acuerdo con la ARIB STD-B31:2005 (ABNT NBR 15601, 2007).

Tabla 1

Parámetros del sistema de transmisión ISDB-Tb

Parámetros	Valores
Ancho de banda del canal	6 MHz
Número de segmentos	13
Ancho de banda de un segmento	6000 kHz/14 ≈ 428.57 MHz
Ancho de banda utilizado	5.575 MHz (modo 1) 5.573 MHz (modo 2) 5.572 MHz (modo 3)
Número de portadoras activas de todo el espectro	1405 (modo 1) 2809 (modo 2) 5617 (modo 3)
Esquema de modulación	QPSK, DQPSK, 16QAM, 64 QAM
Duración del símbolo activo	252 μs (modo 1) 504 μs (modo 2) 1008 μs (modo 3)
Portadoras activas por segmento	96 de datos y 12 pilotos = 108 (modo 1) 192 de datos y 24 pilotos = 216 (modo 2) 384 de datos y 48 pilotos = 432 (modo 3)
Portadoras de datos por segmento	96 (modo 1) 192 (modo 2) 384 (modo 3)
Separación de portadoras	428.57 kHz/108 = 3.968 kHz (modo 1) 428.57 kHz/216 = 1.984 kHz (modo 2) 428.57 kHz/432 = 0.992 kHz (modo 3)
Duración del intervalo de guarda	1/4, 1/8, 1/16 y 1/32
Codificación de canal (Tasa de código convolucional)	1/2, 2/3, 3/4, 3/4, 5/6, 7/8
Profundidad del entrelazado temporal	0, 1, 2, 4 (modo 1) 0, 2, 4, 8 (modo 2) 0, 4, 8, 16 (modo 3)

Nota. La tabla detalla los parámetros de ISDB-Tb. Tomado de Norma Brasileña ABNT NBR 15601

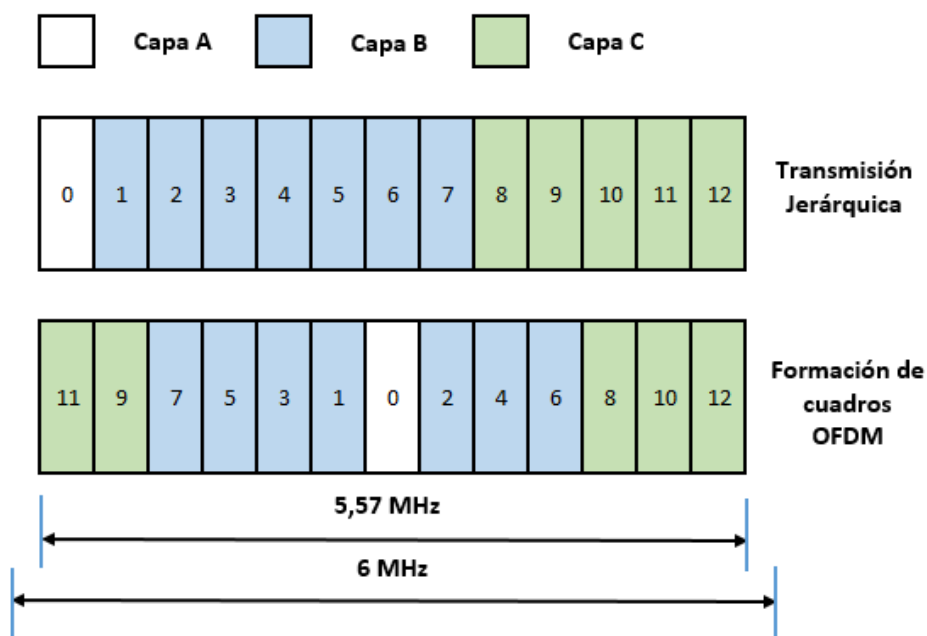
Televisión digital terrestre - Sistema de transmisión ISDB-Tb, de Parámetros del sistema de transmisión, 2007

El ancho de banda de 6 MHz está compuesto por 14 segmentos o subconjuntos (bandas de frecuencia) de los cuales 13 de ellos son utilizados para transmitir datos y uno para guarda. Estos 13 segmentos se posicionan de forma adyacente en el centro del espectro y la guarda se coloca en los extremos. Es por ello que la técnica de modulación que emplea ISDB-Tb es conocida como BST-OFDM (en inglés, Band Segment Transmission-OFDM) misma que permite la transmisión de forma jerárquica a través de sus tres capas jerárquicas A, B y C (Flores P. , 2016).

En la figura 5 se muestra el ejemplo propuesto por el Dr. Gonzalo Olmedo respecto a la configuración de las capas, para ello utiliza 1 segmento para la capa A, 7 segmentos en la capa B y 5 segmentos para la capa C. Dichos segmentos de OFDM en la transmisión jerárquica son organizados para la obtención de los cuadros de OFDM (Olmedo, Televisión Digital Terrestre, 2020).

Figura 5

Transmisión Jerárquica y formación de cuadros OFDM



Nota. La figura muestra el espectro de ISDB-Tb dividido en segmentos. Adaptada de Televisión Digital Terrestre, de Segmentos OFDM por Gonzalo Olmedo, 2020

La capa A está definida en el segmento del centro y corresponde al “segmento 0” mismo que es usado para aplicaciones móviles de baja definición (SD) y utiliza un único segmento conocido como One-Seg con un ancho de banda de 428.57 kHz, mientras que los dispositivos que son capaces de utilizar y sintonizar los 13 segmentos son llamados Full-Seg.

Medidas de calidad

Una vez receptada la señal es necesario conocer el funcionamiento correcto del algoritmo de DSP, por lo cual es necesario caracterizar el desempeño del estándar ISDB-Tb mediante las medidas de calidad y determinar la eficiencia del sistema de recepción. Las tres medidas que se caracterizaran en este sistema de televisión digital son el MER (en inglés, Modulation Error Ratio) y el BER (en inglés, Bit Error Rate) considerando sus mediciones antes del decodificador de Viterbi y también antes del decodificador Reed Solomon (Flores P. , 2016).

MER (Modulation Error Rate)

El MER es una medida de calidad que informa sobre las degradaciones de la señal. Para un sistema de comunicaciones ideal el MER debe ser infinito, pero en sistemas reales no es posible. Los niveles del MER son especificados de forma empírica, pero un nivel de 30 dBm es considerado de muy buena calidad (Larroca, Flores, Gómez, González, & Belzarena, 2016).

Las degradaciones de la señal se ven afectada al igual que la relación señal ruido por perturbaciones que pueden ser causadas por ecos, además, por el ruido de fase de osciladores (Flores, Benavides, Martínez, & Cherrez, 2019). La medida del MER es considerada como una equivalencia para los sistemas digitales.

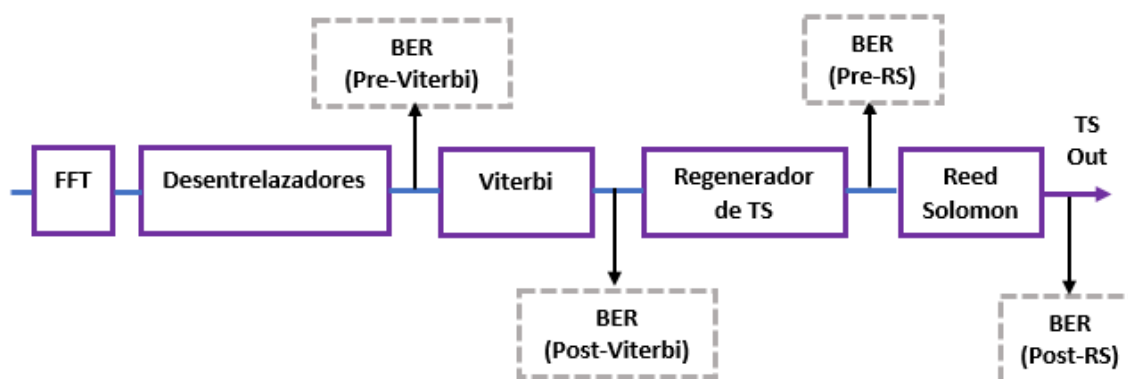
BER (Bit Error Rate)

El BER se determina mediante el cociente de los bits erróneos recibidos y el total de bits recibidos. El BER puede ser medido en base a dos formas: fuera de servicio y en el servicio. Para la primera consideración el transmisor envía una secuencia de bits y en la recepción se calcula

los bits erróneos. La segunda consideración emplea los algoritmos de detección de errores de Viterbi y Reed Solomon para detectar y corregir errores. Mismo principio que es utilizado por analizadores de espectro (Flores P. , 2016). En la figura 6 se muéstralos puntos de medición de Viterbi y Reed Solomon.

Figura 6

Puntos de medición del BER en receptores



Nota. La figura muestra los puntos de medición antes y después de Viterbi y Reed Solomon.

Adaptada de Implementación de un receptor One Seg utilizando la plataforma de Radio Definida por Software USRP en el estándar ISDB-Tb, de puntos de medición del BER en receptores, 2018

La medición del BER de Viterbi se la realiza antes de la corrección (Pre-Viterbi) y el BER de Reed Solomon después de la corrección de Viterbi (Post-Viterbi), es decir antes de la corrección de Reed Solomon (Pre-RS).

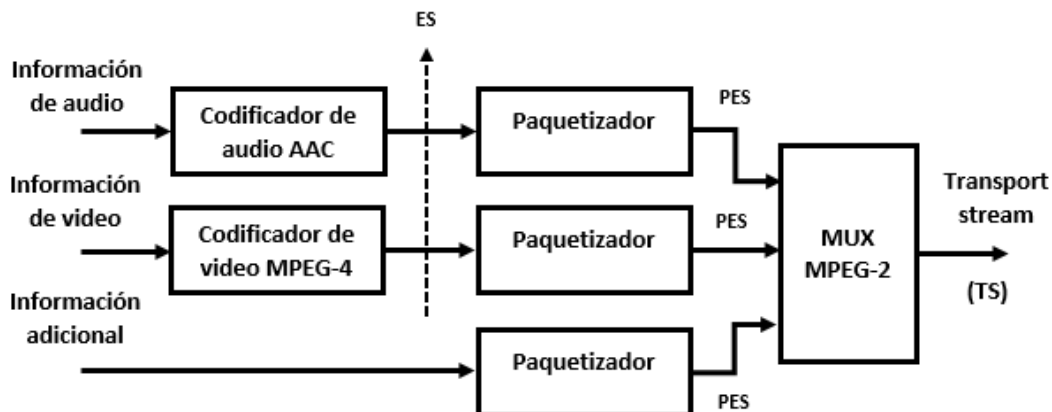
Transport Stream

El TS o Transport Stream de ISDB-Tb es un protocolo de comunicación que trabaja en el estándar MPEG-2 (en inglés, *Moving Picture Experts Group 2*) para audio, video y datos. El estándar describe la multiplexación de la señal de uno o más programas que comprende televisión digital terrestre.

La figura 7 es una representación funcional del sistema MPEG-2 para una sola programación que posee información de audio, video e información adicional (de Bruin & Smits, 1999).

Figura 7

Multiplexación del Transport Stream



Nota. La figura muestra un sistema funcional de multiplexación MPEG-2 para la obtención del TS. Adaptada de Digital Video Broadcasting Technology Standards, and Regulations, de Functional representation of the MPEG-2 systems, pp. 153, 1999

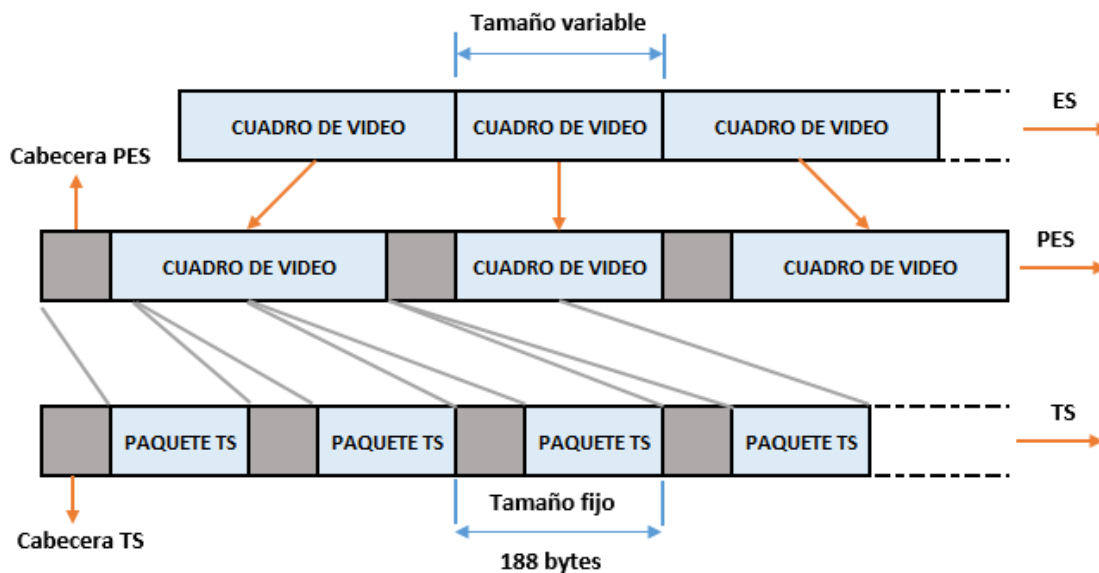
La señal de audio y video entra a un proceso de compresión y codificación MPEG-4 donde cada uno de ellos (audio y video) forma un flujo elemental ES (en inglés, *Elementary Stream*) que ingresa al Paquetizador. El ES de audio y video ya codificada se convierte en un flujo de paquetes estandarizados al pasar por el Paquetizador que incluye una cabecera, cabecera adicional (opcional) y la información de audio o video ya codificada.

A este flujo se lo denomina PES (en inglés, *Packetized Elementary Stream*). Después de ello, los paquetes PES de audio, video y de información adicional se entregan a un multiplexor el cual produce finalmente un flujo de datos estandarizado comprendido por una cabecera, un campo de adaptación (opcional) y la carga útil, teniendo a la salida un TS de 188 bytes (Pozo, Moncayo, Bernal, & Mejía, 2015).

A continuación, en la figura 8 se muestra la estructura para la formación del Transport Stream. El TS se forma a partir de flujos de datos ES de tamaño variable y PES para audio y video.

Figura 8

Formación de ES, PES y TS



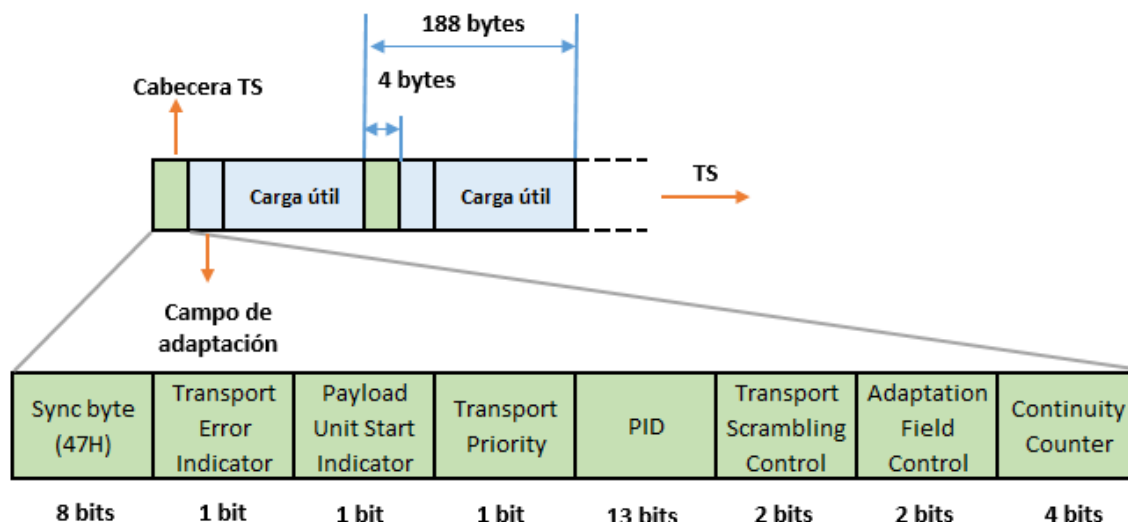
Nota. La figura muestra la estructura para la formación de un TS

Es esquema tiene la información de varios cuadros de video de tamaño variable después de la codificación de audio (AAC) y video (MPEG-4). El procedimiento que efectúa es el mismo que se indicado para una sola programación. La ventaja de tener un flujo de datos TS de 188 bytes de tamaño fijo permite la detección de errores más fácilmente y la multiplexación de más de un programa en un mismo flujo de datos (Villamarín, Olmedo, Lara, & Illescas, 2012).

La estructura del TS de 188 bytes se muestra en figura 8, de los cuales 4 bytes son utilizados para la cabecera y los 184 bytes restantes son la carga útil (Payload) incluyendo el campo de adaptación. Dentro de la carga útil se transporta diferente tipo de información como: datos, servicios e información de relleno.

Figura 9

Formato de un paquete TS con la descripción de la cabecera



Nota. La figura muestra la estructura de un paquete TS y los campos de la cabecera

La estructura de la cabecera de un TS y cada uno de los campos se describe a continuación (ABNT NBR 15602-3, 2007):

- **Sync Byte:** (byte de sincronismo) referencia de inicio de cada paquete TS y permite que el decodificador se sincronice (0x47).
- **Transport error indicator:** (indicador de error de transporte) flag indicador de la presencia de errores de bit en un paquete. La señalización presenta el valor de '1' cuando tiene un error incorregible, de lo contrario el valor es de '0'.
- **Payload unit Start indicator:** (indicador de inicio) indica si existe un paquete PES.
- **Transport priority:** prioridad de transporte entre los paquetes que tiene el mismo PID. Cuando el valor es '1' indica que el paquete tiene mayor prioridad.
- **PID:** (Identificador de paquete): identifica el tipo de datos del Payload y depende de la información que transporta.

- **Transport scrambling control:** (control de codificación de transporte) identifica el modo de codificación del Payload para el TS.
- **Adaptation field control:** (control de campo de adaptación) indica la configuración para el campo de adaptación.
- **Continuity counter:** el contador incrementa en '1' por cada paquete del mismo PID.

Tablas PSI/SI

Las tablas PSI/SI (en inglés, *Program Specific Information/Service Information*) poseen información del TS que debe ser recibida correctamente por los terminales receptores, para que este sea capaz de decodificar las transmisiones de programas existentes y localizar la información de audio, video y datos. Estas tablas hacen posible la sintonización automática y además se espera que la Guía Electrónica de Programación (EGP) se encuentre presente como una de las funciones en la transmisión de TDT, lo cual está definido en la norma brasileña (ABNT NBR 15603-1, 2007).

Tabla PSI

La tabla PSI está dada por el estándar MPEG-2, quienes facilitan la información que permite la configuración automática del receptor, cuya función es la de demultiplexar y decodificar las diferentes programaciones. La descripción de las tablas que conforman esta información se detalla a continuación:

Tabla PAT (Program Associate Table)

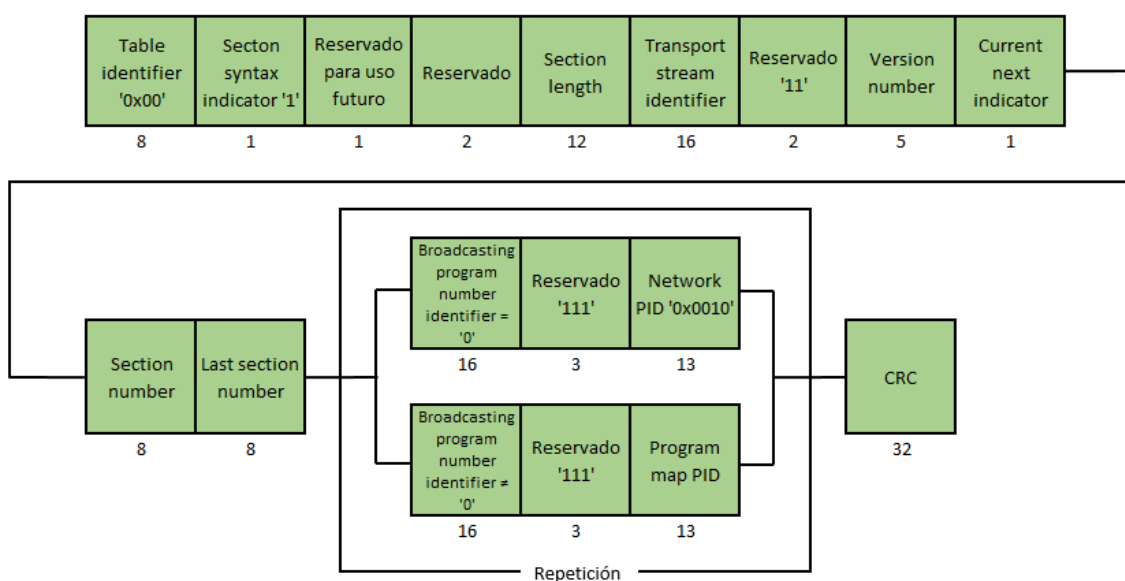
La Tabla de Asociación de Programa debe indicar de forma obligatoria el número de programa y los valores del PID presentes en un TS (ABNT NBR 15602-3, 2007). Por medio del identificador de paquete PID (*Packet Identifier*) de la tabla PAT se conoce en qué PID transportan la información de ese programa en los 13 bits de la cabecera de la tabla PMT. Es por

ello que la PAT debe mantener una correlación con los campos “transport_stream_id”, “program_number” y “program_map_id”.

La figura 10 muestra la estructura de datos de la tabla PAT en un diagrama de bloques de cómo se encuentra conformado los paquetes de 188 bytes de la transmisión de la PAT. El valor del *Table identifier* debe ser obligatoriamente 0x00 para la tabla PAT.

Figura 10

Estructura de datos de la Tabla PAT



Nota. Diagrama de bloques del orden de transmisión de la Tabla PAT. Tomada de la Estructura de datos de la PAT, de la Norma Brasileña ABNT NBR 15603-1 Primera edición, 2007

Es importante mencionar que dentro de cada TS pueden existir diferentes programaciones y todos los PID deben encontrarse en la tabla PAT, los mismos que se denotan como *Network PID* o *Program map PID*. El campo del *Program Number* cuando presenta un valor de '0' debe ser utilizado exclusivamente para la tabla NIT con un valor en el *Network PID* de 0x0010 y si el *Program Number* es diferente de '0' corresponde de forma obligatoria al PID de la PMT denotado como PMT PID (ABNT NBR 15602-3, 2007).

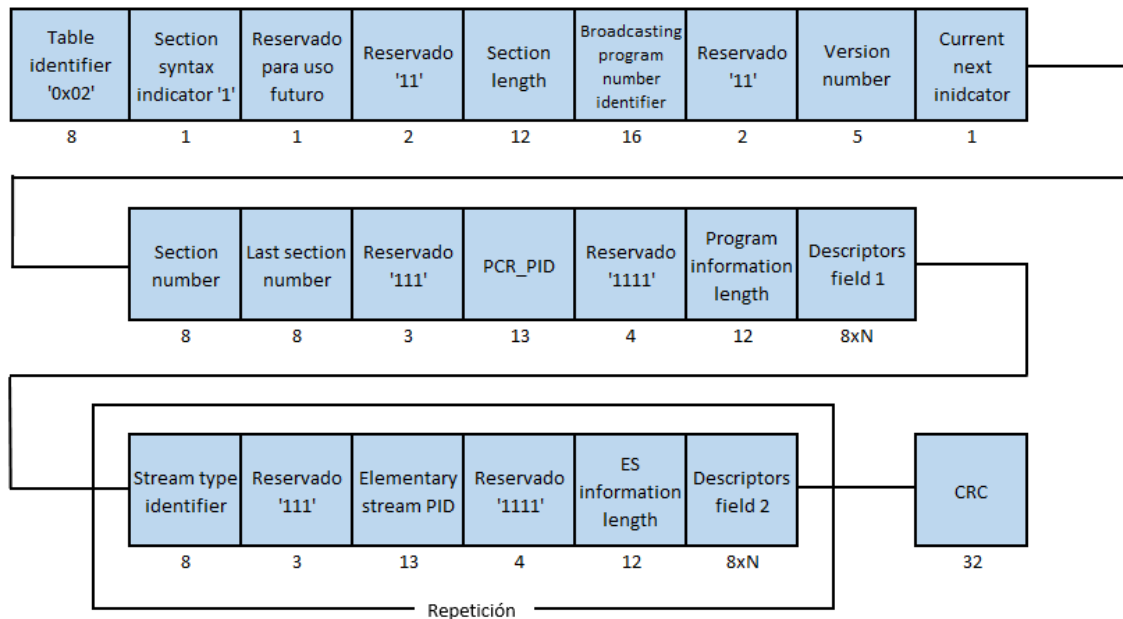
Tabla PMT (Programa Map Table)

La Tabla de Mapeo de Programa es la encargada de realizar el mapeo del programa e identifica los servicios de radiodifusión que contiene y la localización del PCR (en inglés, Program Clock Reference) o referencia de hora del programa. Es así que existe una PMT para cada programa contenido en el TS, considerando la lista de valores de PID para los paquetes que poseen la información de datos, audio, video y referencia del reloj, además de los descriptores asociados a cada servicio.

En la 11 se puede observar la estructura de datos que corresponde a la información contenida en cada paquete de 188 bytes en la tabla PMT. El valor del *Table identifier* debe ser obligatoriamente 0x02 para la tabla PMT.

Figura 11

Estructura de datos de la Tabla PMT



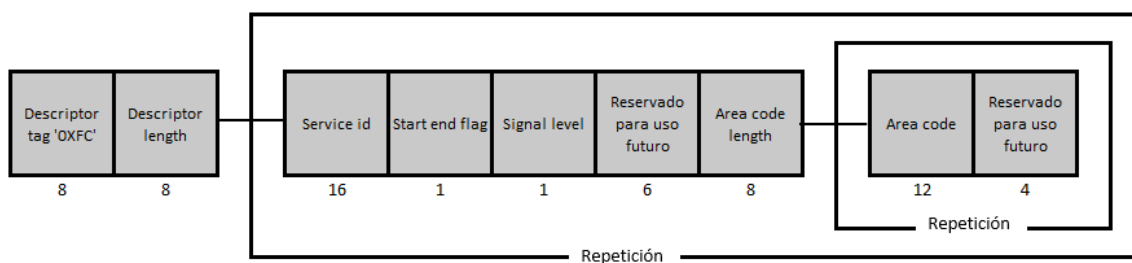
Nota. Diagrama de bloques del orden de transmisión de la Tabla PMT. Tomada de la Estructura de datos de la PMT, de la Norma Brasileña ABNT NBR 15603-1 Primera edición, 2007

La descripción de los elementos principales según la norma se detallan a continuación (ABNT NBR 15602-3, 2007):

- CRC: El Comprobador de redundancia Cíclica (en inglés, Cyclic Redundancy Check) es una función empleada para ejecutar comprobación de bloques de datos y detectar posibles errores en la transmisión.
- PCR PID: El identificador de paquete (en inglés, Packet identifier), representa de manera obligatoria el PID del paquete del Transport Stream que va hacer transmitido.
- Program information length: los dos primeros bits son '00' y los 10 bits restantes indican el número de bytes que posee el *descriptor field 1*.
- Descriptor field 1: tiene el descriptor asociado al programa empleado en la radiodifusión. En este caso en particular corresponde al descriptor de información de emergencia que se observa en la figura 12, del que se hablará más adelante.
- Descriptor field 2: tiene el descriptor asociado al *Stream type identifier* utilizado.
- Stream type identifier: El tipo de flujo identifica el elemento de programa de radiodifusión.

Figura 12

Estructura del descriptor de emergencia ('0xFC')



Nota. Descriptor de información emergencia. Tomada de la Estructura de datos del descriptor de emergencia, de la Norma Brasileña ABNT NBR 15603-1 Primera edición, 2007

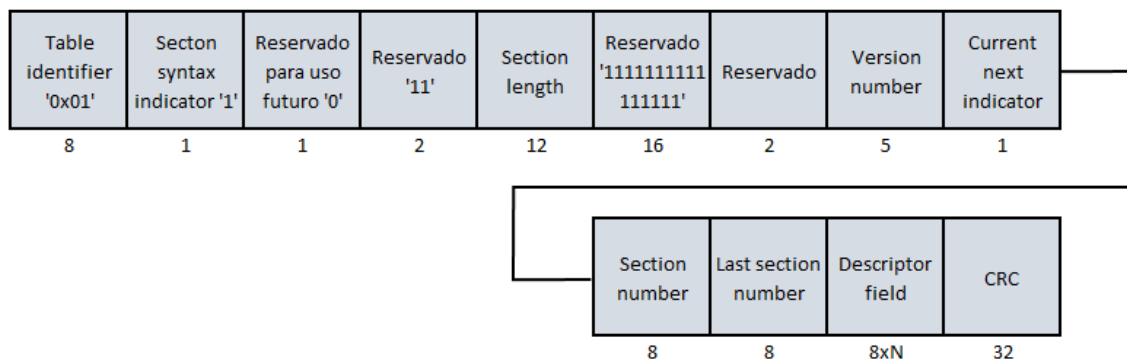
- Elementary stream PID: representa el identificador para el paquete del TS que transmite el ES (Elementary Stream) asociado al elemento del programa.
- ES information length: los dos primeros bits son '00' y los 10 bits restantes indican el número de bytes que posee el descriptor field 2.

Tabla CAT (Conditional Access Table)

La Tabla de Accesos Condicional es la encargada de brindar información acerca del sistema de acceso condicional empleados en el multiplexador. En la figura 13 se observa la estructura de la tabla CAT y su orden en la transmisión. El valor del *Table identifier* debe ser obligatoriamente 0x01 para la tabla CAT.

Figura 13

Estructura de datos de la Tabla CAT



Nota. Diagrama de bloques del orden de transmisión de la Tabla CAT. Tomada de la Estructura de datos de la CAT, de la Norma Brasileña ABNT NBR 15603-1 Primera edición, 2007

Tablas SI

Las tablas SI están conformadas por una agrupación de tablas que conforman las tablas PSI, pues con la información que se transmite por las tablas SI se hace posible, con la ayuda del receptor digital terrestre mantener control de la selección de canales y eventos existentes en la programación, es decir de la Guía Electrónica de programación (EPG) es por ello, que se las conoce como tablas de servicios de información (ABNT NBR 15603-1, 2007).

La norma ABNT NBR 15603-1 especifica que son 15 tablas PSI, de las cuales se dará a conocer la información de dos de ellas que se van a explicar a continuación, mientras que la información de las tablas restantes se puede encontrar de forma detallada en (ABNT NBR 15603-1, 2007) y (ABNT NBR 15603-2, 2007).

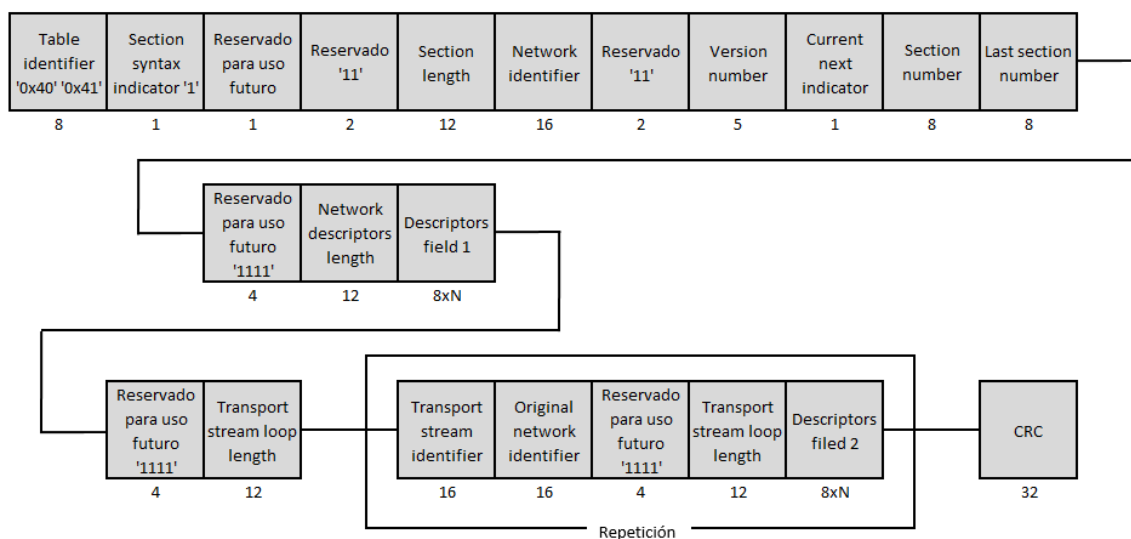
Tabla NIT (Network Information Table)

La tabla de Información de red es la responsable de informar la organización física del agrupamiento del TS que se encuentra en una misma red y sus características. Es decir, brinda información del canal y el programa para la transmisión, así como los datos relevantes sobre la sintonía de los servicios presentes.

La figura 14 representa la estructura de datos de la tabla NIT que contiene el orden de los bytes para la transmisión. El valor del *Table identifier* en la tabla NIT debe ser obligatoriamente 0x40 para una red verdadera y para una red cualquiera 0x41.

Figura 14

Estructura de datos de la Tabla NIT



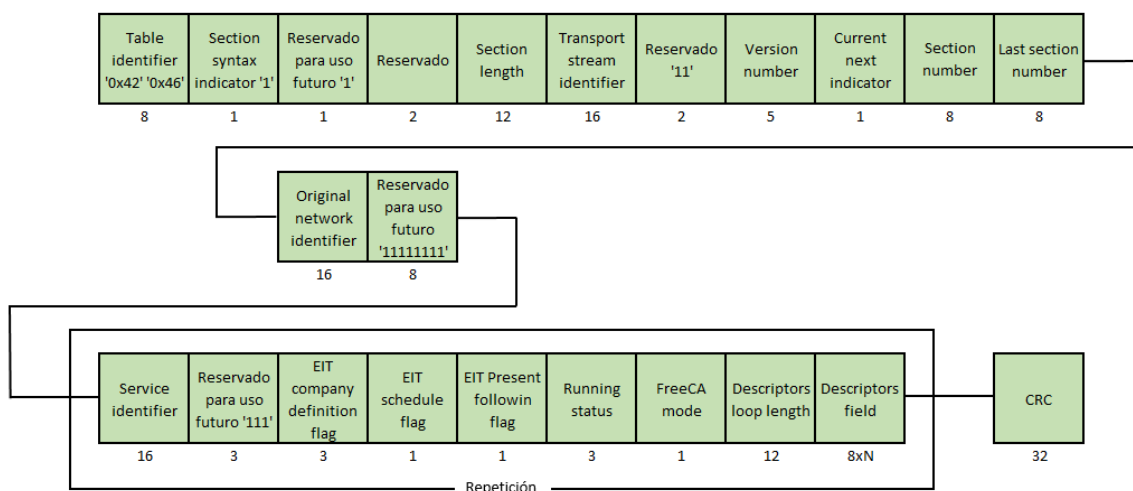
Nota. Diagrama de bloques del orden de transmisión de la Tabla NIT. Tomada de la Estructura de datos de la NIT, de la Norma Brasileña ABNT NBR 15603-1 Primera edición, 2007

Tabla SDT (Service Description Table)

La Tabla de Descripción de Servicios contiene los datos que describen los diferentes servicios existentes en un Transport Stream (TS) como por ejemplo el nombre del servicio y el proveedor del servicio. Los servicios que muestra la SDT pueden pertenecer a un *stream actual* o a otro stream. El valor del *Table identifier* en la tabla SDT debe ser obligatoriamente 0x42 para un stream actual y 0x46 para otro stream (ABNT NBR 15603-1, 2007). Su estructura se muestra en la figura 15.

Figura 15

Estructura de datos de la Tabla SDT



Nota. Diagrama de bloques del orden de transmisión de la Tabla SDT. Tomada de la Estructura de datos de la SDT, de la Norma Brasileña ABNT NBR 15603-1 Primera edición, 2007

Información del TMCC

La información del TMCC ayuda a los receptores en la decodificación y demodulación de diferentes informaciones, entre ellas el sistema de identificación, el indicador de los parámetros de conmutación del transmisor, el flag de inicio para la alarma de emergencia, el flag de recepción parcial, además de la información actual y próxima información (ARIB, 2005).

La información actual al igual que la próxima información muestra los parámetros de la transmisión y la configuración jerárquica. La tabla 2 detalla la asignación de los bits utilizados para la representación de la información del TMCC. Además, en la tabla 3 se presenta el contenido de los parámetros de transmisión, mismos que serán mostrados durante la ejecución del algoritmo de recepción de banda angosta (One-Seg).

Tabla 2

Información del TMCC

Bit asignado	Descripción	
B ₂₀ – B ₂₁	Sistema de identificación	
B ₂₂ – B ₂₅	Indicador de los parámetros de conmutación del transmisor	
B ₂₆	Señal de control de inicio	
	Inicio de flag para la alarma de emergencia de radiodifusión	
B ₂₇	Flag de recepción parcial	
B ₂₈ – B ₄₀	Información actual	Información de los parámetros de transmisión para la capa jerárquica A
B ₄₁ – B ₅₃		Información de los parámetros de transmisión para la capa jerárquica B
B ₅₄ – B ₆₆		Información de los parámetros de transmisión para la capa jerárquica C
B ₆₇	Flag de recepción parcial	
B ₆₈ – B ₈₀	Próxima información	Información de los parámetros de transmisión para la capa jerárquica A
B ₈₁ – B ₉₃		Información de los parámetros de transmisión para la capa jerárquica B
B ₉₄ – B ₁₀₆		Información de los parámetros de transmisión para la capa jerárquica C
B ₁₀₇ – B ₁₀₉	Corrección del valor del valor de desvío de fase para segmentos de transmisión conectado	
B ₁₁₀ – B ₁₂₁	Reservado	

Nota. Esta tabla muestra la información del TMCC. Tomada de TMCC Information, de TRANSMISSION SYSTEM FOR DIGITAL TERRESTIAL TELEVISION BROADCASTING ARIB STD-B31 Versión 2.2, 2014.

Es importante mencionar que dentro de los 102 bits utilizados para la representación de la información del TMCC, solamente 90 bits están definidos en la tabla de asignación. La norma reserva los 12 bits restantes para futuras expansiones (ARIB, 2005).

Tabla 3

Información de los parámetros de transmisión para cada capa

Descripción	Número de bits
Esquema de modulación de portadora	3
Tasa del codificador convolucional	3
Longitud del entrelazado	3
Número de segmentos	4

Nota. Esta tabla muestra la cantidad de bits utilizados para representar los parámetros de transmisión para la capa (A, B y C). Tomado de TRANSMISSION SYSTEM FOR DIGITAL TERRESTIAL TELEVISION BROADCASTING ARIB STD-B31, de Contenidos de información de los parámetros de transmisión, Versión 2.2, 2014.

La asignación de los bits en detalle de los parámetros de transmisión, sistema de identificación, flag de recepción parcial se encuentra en la norma ARIB STD-B31. El inicio de flag para la alarma de emergencia de radiodifusión se describirá en la sección de Emergency Warning Broadcasting System (EWBS). Dichos parámetros son visualizados en la terminal de GNU Radio mediante la lectura de la información del TMCC.

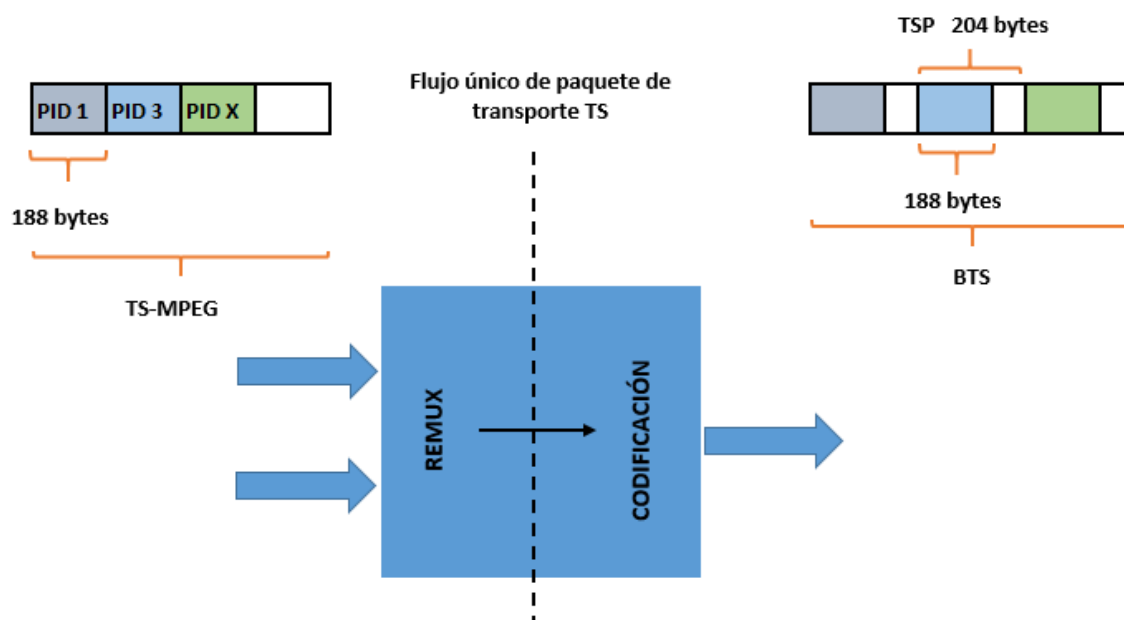
BTS (Broadcast Transport Stream)

El estándar ISDB-Tb mediante un proceso de re-multiplexación adapta el TS (Transport Stream) de MPEG-2 para permitir la transmisión jerárquica y la recepción parcial. A la salida del re-multiplexador se tiene el flujo binario de 204 bytes conocido como BTS (Broadcast Transport Stream) o TS de transmisión mediante la combinación de varios TS. Se agrega 16 bytes al final

para la obtención de TSPs (Transport Stream Packets) de 204 bytes de longitud como se observa en la figura 16, en el que los primeros 8 bytes corresponden a información de control de la capa jerárquica (ISDB-T information) y los últimos 8 bytes para la paridad (Pozo, Moncayo, Bernal, & Mejía, 2015).

Figura 16

Re-multiplexación del Transport Stream

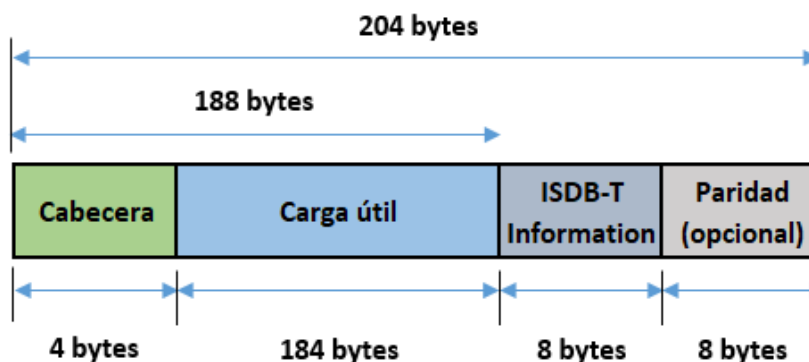


Nota. La figura muestra la generación del BTS, Adaptado de Desarrollo de un analizador de Flujos únicos de Paquetes de Transporte TS conformados de acuerdo a la norma de TV Digital ISDB-Tb, de Re-multiplexación de flujos de transporte (transport stream), 2015

Luego del bloque de re-multiplexación se realiza la codificación reemplazando los 16 bytes por un código Reed Solomon (204, 188) con una capacidad de corregir errores de hasta 4 bytes dentro de un TSP. En la figura 17 se muestra la estructura del TSP de 204 bytes que conforma un BTS.

Figura 17

Estructura del paquete de transporte BTS



Nota. TSPs que conforma la estructura del BTS

Sistema de Alerta de Emergencia en el estándar ISDB-T

Introducción

Desde la adopción del estándar japonés de televisión digital terrestre (ISDB-T) en varios países del mundo ha ocasionado grandes avances dentro de su implementación. Actualmente existen 15 países de centro y Sudamérica (Sakaguchi, Yoshimi, & Maruyama, 2013) que acogieron el estándar ISDB-T (Brasil, Perú, Argentina, Chile, Venezuela, Ecuador, Costa Rica, Paraguay, Bolivia, Uruguay, Guatemala, Honduras, Nicaragua, El Salvador y Belice), 4 países del continente asiático (Japón, Filipinas, Maldivas y Sri Lanka), conjuntamente con 2 países del continente africano (Angola y Botsuana), de tal manera que se consiga migrar de forma gradual la Televisión Analógica Terrestre a la transmisión de Televisión Digital Terrestre (TDT) en todos los países como en el Ecuador .

Una de las ventajas importantes que maneja el estándar ISDB-T es el Sistema de Radiodifusión de Alerta de Emergencia EWBS, el cual por medio de una señal de “alerta de emergencia” que es transmitida a través de la estación emisora a los receptores, pretende advertir de manera oportuna a la población de un posible desastre natural y así; minimizar los

daños que pueda ocasionar un tsunami, terremotos o erupciones volcánicas del llamado Cinturón de Fuego del Pacífico. El sistema EWBS ha sido implementado de forma exitosa en Japón, Perú, Chile y Costa Rica, siendo estos tres últimos países guiados con el apoyo de expertos de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) (Sakaguchi, Yoshimi, & Maruyama, 2013), a pesar de ello los países de América Central y Sudamérica no han conseguido un método efectivo para transmitir alertas de emergencia a la ciudadanía a nivel nacional.

Emergency Warning Broadcasting System (EWBS)

Introducción

El sistema EWBS integra nuevas tecnologías para los sistemas de alerta temprana que se implementa en las señales de radiodifusión analógicas y digitales para alertar a la población de algún evento natural a suscitarse y puedan estar preparados a un desastre inminente. EWBS emite señales de broadcast de modo que los equipos receptores (portátiles, móviles) que se encontraban en modo de espera se enciendan para emitir el mensaje o boletín de alerta en diferentes formatos según el dispositivo, previniendo a los habitantes de un peligro inminente como, por ejemplo: erupción volcánica, movimientos sísmicos, tsunami, entre otros (Shogen, 2009).

Las señales de EWBS contienen códigos de tiempo, área y códigos fijos especiales los mismos que indican el inicio y fin de la operación del sistema. Los códigos de área son indispensables para asegurar que los dispositivos de radio y televisión se activen solamente en las localidades donde se requiere transmitir la emergencia de lo cual se profundizará en las siguientes secciones, mientras que los códigos de tiempo no son obligatorios que formen parte de la emergencia.

Las señales de EWBS consisten en la integración de la bandera de activación de emergencia en el TMCC en el bit 26 y el descriptor de información de emergencia en la tabla

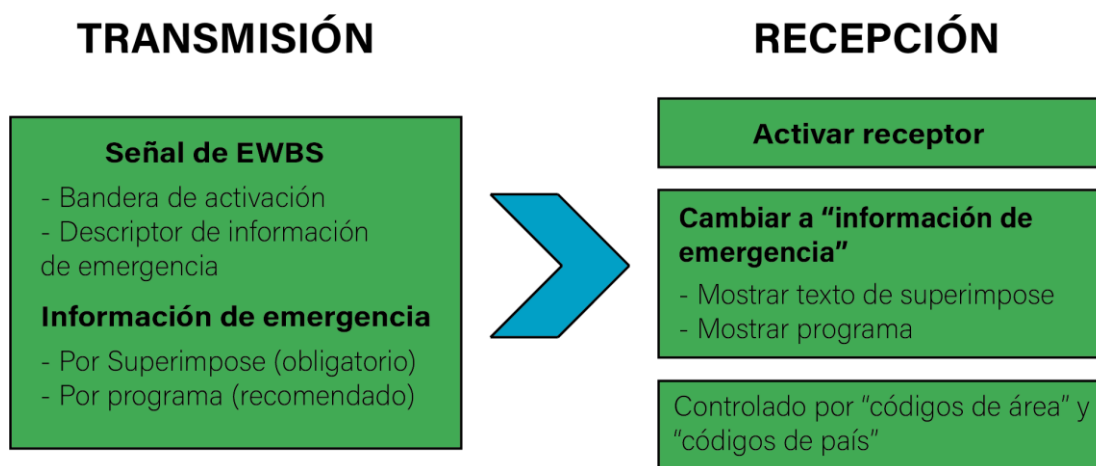
PMT (descriptor 1). Se debe considerar 2 aspectos importantes que valoran los organismos de radiodifusión para transmitir la información de la emergencia (ISDB-T International, 2015):

- Transmisión de mensajes de texto de Superimpose (operación obligatoria)
- Transmisión del programa (operación recomendada)

Desde el punto de vista de la recepción, la señal de EWBS activa a cada uno de los receptores que se encuentran en stand by de acuerdo a los códigos de área que se detallan en el descriptor 1 y cambia inmediatamente a la información de emergencia, interrumpiendo la programación actual para mostrar el mensaje y el programa de superimpose. En la figura 18 se presenta el panorama general de las funciones de EWBS.

Figura 18

Función básica de EWBS



Nota. Se muestra el panorama general de las funciones de EWBS. Adaptada de las Funciones básicas de EWBS, de ISDB-T Documento de Armonización Parte 3: Sistema de Alerta de Emergencia EWBS (p.5), 2013

Sistema General de EWBS analógico

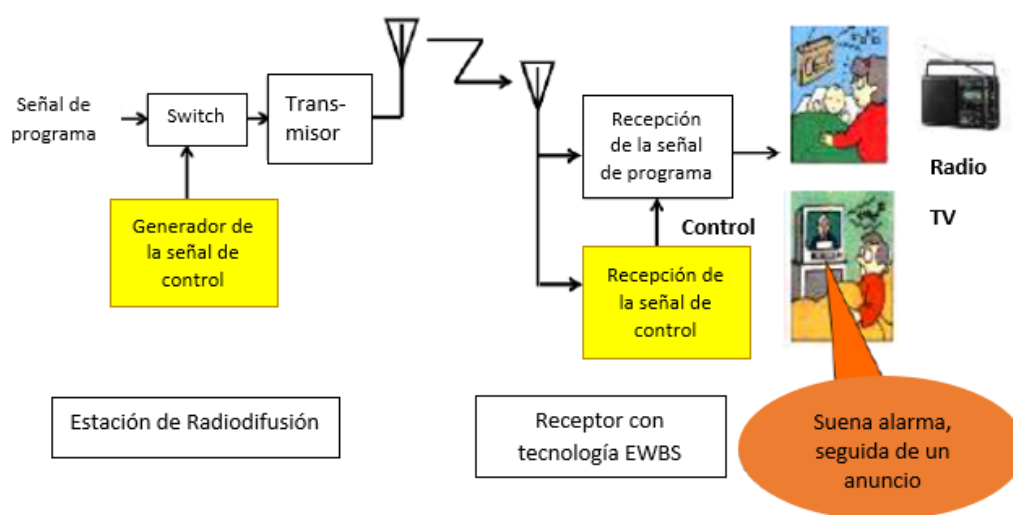
EWBS analógico dio sus primeros inicios en Japón desde septiembre de 1985 y ha sido utilizado para enviar señales de emergencia en más de 15 ocasiones. Fue desarrollado por la

empresa pública NHK (Japan Broadcasting Corporation o Corporación Radiodifusora de Japón) quien proporciona en todos los canales de televisión (terrestres y satelitales), canales comerciales de televisión y servicios de radio AM y FM el sistema de EWBS.

La figura 19 muestra de forma general el sistema de EWBS analógico que tiene señales de audio diseñadas con el propósito de encender automáticamente los dispositivos de radio y televisión cuando son transmitidos desde la estación emisora.

Figura 19

Configuración general del sistema de EWBS analógico



Nota. Esquema general de la configuración del sistema EWBS analógico a inicios de septiembre de 1985. Adaptada del gráfico Configuration EWBS, de Handbook on Emergency Warning Broadcasting Systems (p.7), 2009

La señal de audio (sonidos) que emite el sistema EWBS analógico son frecuencias audibles con modulación FSK (Frequency Shift Keying o Modulación por desplazamiento de frecuencia) asignando un tono de 1024 Hz con el código de '1' y un tono de 640 Hz con código de '0'; siendo audibles para el ser humano cuando son transmitidos por medio de sistemas analógicos, asociado comúnmente al ruido como una alarma. Presenta una recepción de señal

baja y estable de 64 bps proporcionando la capacidad suficiente para códigos de área y tiempo por seguridad (Shogen, 2009).

EWBS para Radiodifusión digital

El sistema de EWBS digital tuvo sus primeros inicios en Japón para la radiodifusión por satélite en el año 2000 y en el 2003 para radiodifusión digital terrestre. Cuando se habla de transmisiones digitales las señales de EWBS se multiplexan con las señales de transmisión. Estas transmisiones pueden ser enviadas a dispositivos móviles de tal manera que exista una respuesta oportuna por las personas para responder a una emergencia.

Generalidades para la transmisión de EWBS

El sistema de transmisión de EWBS debe estar basado en un sistema robusto contra ruidos para garantizar una recepción eficiente y estable. Existen 4 aspectos a ser considerados al poner en marcha el sistema EWBS (ISDB-T International, 2015).

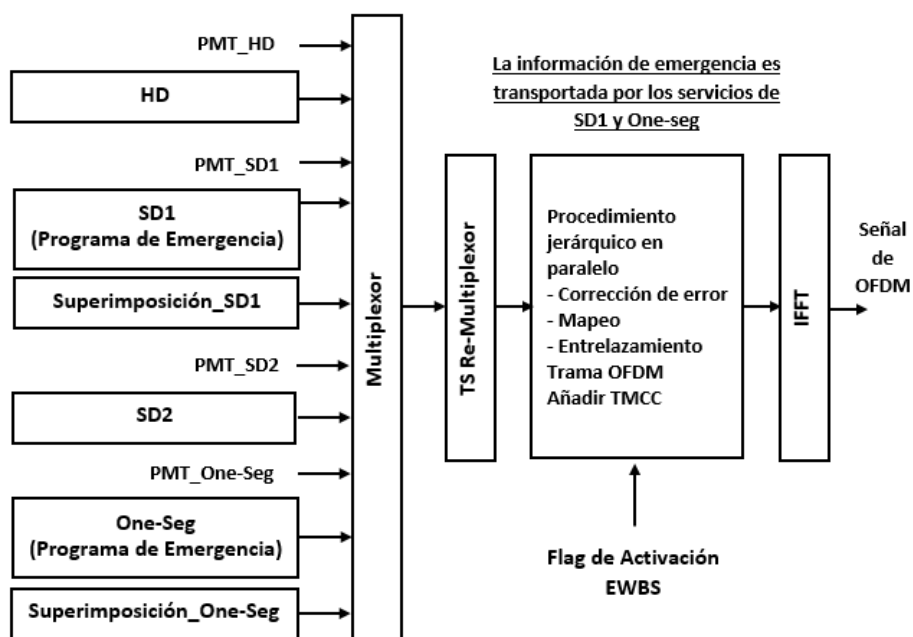
- El descriptor de información de la emergencia debe especificar el inicio/fin de la flag de EWBS, el código de identificación del servicio y el código de área deben ser transferidos a todos los servicios de la PMT.
- La estación emisora debe setear el flag de activación de la emergencia en la señal TMCC con el valor de '1'.
- El mensaje o texto de superimposición debe ser transmitido sobre el servicio que transporta la emergencia en la PMT.
- Si se cuenta con el programa con la información de emergencia, este debe ser transmitido sobre el servicio que lleva la información de emergencia.
- Cuando no existe alerta de emergencia EWBS, debe realizarse los siguientes dos pasos en la señalización.
- El flag de activación de EWBS debe cambiar de '1' a '0'.

- El descriptor que contienen la información de emergencia debe ser borrado de la tabla PMT hasta que se detecte una nueva señal de emergencia.

En la figura 20 se puede observar el proceso de operación de la transmisión de EWBS utilizando en este ejemplo 4 servicios (HD, SD1, SD2 y One-seg).

Figura 20

Ejemplo de operación de transmisión de EWBS con 4 servicios



Nota. Esquema que muestra la operación de transmisión de EWBS donde los servicios SD1 y One-Seg tienen la información de emergencia. Adaptada del Ejemplo de operación de transmisión del EWBS, de ISDB-T HARMONIZATION DOCUMENT Part 3: Emergency Warning Broadcast System EWBS, 2015

Generalidades para la recepción de EWBS

Existe información que los receptores de EWBS deben cumplir para ser dispositivos aptos para la recepción EWBS entre ellas está, el poder mostrar en su pantalla el texto de superimposición y poseer un preset para de los códigos de área tanto para receptores fijos como portátiles. Las especificaciones técnicas de estos dispositivos fijos y portátiles se

encuentran en el documento de armonización de ISDB-T Parte 3. A continuación se expone los pasos para la recepción de alerta de emergencia EWBS.

- El receptor para EWBS debe monitorear el flag de activación en el bit 26 del TMCC, a pesar de encontrarse en modo “Stand by”.
- Cuando el flag de activación en el TMCC es detectado y cambia de ‘0’ a ‘1’, el dispositivo de recepción debe empezar a monitorear flujo de transporte recibido en los descriptores de información de la emergencia de la tabla PMT.
- En el caso que el flag de activación es ‘1’ y existe una coincidencia en el código de área de la tabla PMT con el dispositivo de dispositivo de recepción, este debe activarse mostrando la información de emergencia (texto de sobreimposición y el programa).
- Si el flag de activación presenta un valor ‘0’, la transmisión no necesita realizar ninguna operación.
- Además, los receptores deben monitorear constantemente el flag de activación en el TMCC mientras se mantenga en ‘1’, para que al pasar a ‘0’ el flag del TMCC y borre el descriptor de emergencia, se finalice la operación de alerta de EWBS.

Descriptor de información de la emergencia

El descriptor de EWBS se encuentra situado en el campo del descriptor 1 en la Tabla de Mapeo de Programa o PMT, el cual es colocado en Transport Stream cuando se presenta la emergencia. La tabla 4 contiene la descripción de la estructura del TS, PMT y el descriptor de emergencia.

El descriptor que contiene la información de emergencia es utilizando en los estándares que están listados en la tabla 5.

Tabla 4*Estándares para el descriptor de EWBS*

Estándar	Recomendación
ISDB-TSB	UIT-R BS.1114 (Sistema F)
ISDB-T	UIT-R BT.1306 (Sistema C)
ISDB-TS	UIT-R BO.1408
Sistemas de radiodifusión por satélite (sonido) que utiliza la banda de 2,6 GHz	UIT-R BO.1130 (Sistema E)

Nota. La tabla representa los estándares y su recomendación que pueden utilizar el descriptor de emergencia, tomada la información de Handbook on Emergency Warning Broadcasting Systems, 2009

Tabla 5*Información de la estructura del TS, PMT y el descriptor de EBWS*

Campo	Descripción
1 ES (Elementary Stream)	ES o flujo elemental corresponde al audio y video, etc. codificado.
2 PES (Packetized Elementary Stream)	PES o ES empaquetado corresponde a cada unidad significativa.
3 TS (Transport Stream)	Los PES son divididos en TS con tamaño de 188 bytes, incluyendo 32 bytes de encabezado.
4 PID (Packet Identifier)	El identificador de paquete muestra lo que es el paquete transmitido.
5 CRC (Cyclic Redundancy Check)	El comprobador de redundancia cíclica es una función empleada para producir comprobación de bloques de datos y detectar errores en la transmisión.
6 Descriptor Tag	Su valor es de 0xFC y representa el descriptor de emergencia.
7 Descriptor Length	La longitud del descriptor es un campo que describe el número de bytes de datos que constituyen la información del descriptor.
8 Service Id	El identificador de servicio se emplea para identificar el número de programa de difusión.
9 Start End Flag	La bandera tendrá el valor de "1" cuando comience la transmisión de la señal de emergencia y "0" cuando finalice.
10 Signal Types	El valor del tipo de señal debe ser "0" y "1" para inicio de Categoría I y II respectivamente. La Categoría I es empleada

Campo	Descripción
11 Area Code Length	para emergencias de mayor importancia como terremotos y la Categoría II para otros desastres de menor impacto. La longitud del código de programa es un campo que describe el número de bytes que conforman el código de área.
12 Area Code	Este campo transmite el código de área de la ciudad y provincia donde se suscita el desastre.

Nota. Representa la información del TS, PMT y el descriptor de EWBS

La semántica del descriptor de emergencia se muestra en la figura 22, en el que constan los mismos elementos de la información del descriptor de emergencia mencionados su funcionalidad anteriormente. La asignación del código de área es específica para cada país con el estándar ISDB-T.

Figura 21

Sintaxis de la información del descriptor de emergencia

Syntax	No. of bits	Identifier
emergency_information_descriptor(){		
descriptor_tag	8	uimsbf
descriptor_length	8	uimsbf
for(i=0;i<N;i++){		
service_id	16	uimsbf
start_end_flag	1	bslbf
signal_level	1	bslbf
reserved_future_use	6	bslbf
area_code_length	8	uimsbf
for(j=0;j<N;j++){		
area_code	12	bslbf
reserved_future_use	4	bslbf
}		
}		
}		

Nota. La figura muestra la semántica del descriptor de emergencia. Tomada de la tabla

Emergency information descriptor, de ISDB-T HARMONIZATION DOCUMENT Part 3: Emergency

Warning Broadcast System EWBS, 2015

Es importante mencionar que la semántica representa la estructura del descriptor presentado en la figura 12 en la sección de la Tabla PMT.

Códigos de Área

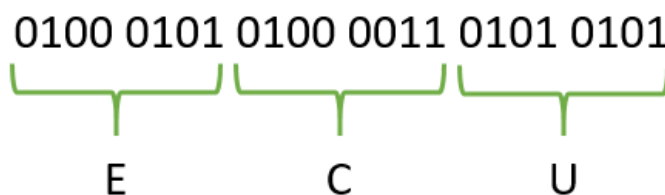
La información del código de área o Area Code se encuentra contenido en el descriptor de emergencia en ciertos paquetes de la tabla PMT. El código de área corresponde a la localización del lugar donde se presenta el desastre y los receptores de EWBS deben almacenar la ubicación del código de área específico en sus registros. Cada país que adoptó el estándar ISDB-T se encarga de elaborar y publicar un cuadro de códigos de área, el mismo que debe ser administrado por alguna entidad del gobierno; y así puedan almacenar los códigos en sus receptores. En el Ecuador la Secretaría Nacional de Riesgos y Emergencias es la entidad encargada de definir los códigos de área en el país.

El campo de 24 bits que se muestra en la tabla 6 identifica a cada país utilizando el código de 3 caracteres como se especifica en la ISO 3166 y cada uno de los caracteres de codifica en 8 bits de acuerdo con ISO / IEC 8859-1 insertando en orden el campo de 24 bits (ARIB, 2008).

Por ejemplo, el Ecuador posee el código de 3 caracteres “ECU”, que se codifica como: “0100 0011 0100 1000 0100 1100”, donde cada 8 bit representa el código ascii en hexadecimal de la abreviatura Ecuador o ECU.

Figura 22

Codificación de Ecuador en función del código de 3 caracteres



Nota. Codificación de Ecuador en base a 3 caracteres de 8 bits

Tabla 6*Códigos de cada país para señal de EWBS*

País	Código de 3 caracteres	Código de país (24 bits)
Argentina	ARG	0100 0001 0101 0010 0100 0111
Bolivia	BOL	0100 0010 0100 1111 0100 1100
Botswana	BWA	0100 0010 0101 0111 0100 0001
Brasil	BRA	0100 0010 0101 0010 0100 0001
Costa Rica	CRI	0100 0011 0101 0010 0100 1001
Chile	CHL	0100 0011 0100 1000 0100 1100
Ecuador	ECU	0100 0101 0100 0011 0101 0101
Guatemala	GTM	0100 0111 0101 0100 0100 1101
Honduras	HND	0100 1000 0100 1110 0100 0100
Japón	JPN	0100 1010 0101 0000 0100 1110
Maldivas	MDV	0100 1101 0100 0100 0101 0110
Nicaragua	NIC	0100 1110 0100 1001 0100 0011
Paraguay	PRY	0101 0000 0101 0010 0101 1001
Filipinas	PHL	0101 0000 0100 1000 0100 1100
Perú	PER	0101 0000 0100 0101 0101 0010
Sri Lanka	LKA	0100 1100 0100 1011 0100 0001
Uruguay	URY	0101 0101 0101 0010 0101 1001
Venezuela	VEN	0101 0110 0100 0101 0100 1110

Nota. Códigos de 24 bits para cada país que se acogió al estándar ISDB-T. Adaptada de la tabla

Código de país, de ISDB-T Documento de Armonización Parte 3: Sistema de Alerta de

Emergencia EWBS, 2013

En el Ecuador están definidos los códigos de área de acuerdo a las provincias y los cantones de cada una de ellas, como se indica en la tabla 7 para la provincia de Pichincha. Los 12

bits del area code puede ser asignados de forma aleatoria y son detallados por la entidad reguladora. Brasil define la distribución de los 12 bits del código de área en estados o Unidad Federal (5 dígitos) y microrregiones (7 dígitos menos significativos) para adecuar la información del area code, los mismos que son fijados por el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE). La distribución de códigos para cada país se puede encontrar en el documento de armonización, parte 3, del Foro internacional de ISDB-T (ISDB-T International, 2015).

Tabla 7

Códigos de área definidos por el Ecuador en la provincia de Pichincha para EWBS

Provincia	Cantón	Código de área
Pichincha	Cayambe	0000 00011110
	Mejía	0000 01101100
	Pedro Moncayo	0000 10010001
	Pedro Vicente Maldonado	0000 10010010
	Puerto Quito	0000 10011110
	Quito	0000 10101000
	Rumiñahui	0000 10101100
	San Miguel de los Bancos	0000 10110111

Nota. Representa los Códigos de área establecidos para la provincial de Pichincha en formato binario de 12 bits. Adaptada de Area code assignment, de ISDB-T HARMONIZATION DOCUMENT Part 3: Emergency Warning Broadcast System EWBS, 2015.

Cabe mencionar que los equipos receptores deben ser capaces de auto configurarse de realizando uso del GPS del dispositivo receptor acorde con EWBS, o empleando la herramienta de configuración manual como, por ejemplo, el código postal de la región a la que pertenece y así, los fabricantes de los equipos receptores puedan proporcionar a los usuarios un manual de configuración para los códigos de área.

Sobreimposición

La operación de sobreimposición se encuentra definida en (ARIB, 2006) donde se especifica los datos de broadcasting para *superimpose* y *caption*. La información del texto de sobreimposición se encuentra definida para la recepción en Full-seg y One-seg, la misma que tiene mayor prioridad al tratarse de la alerta de emergencia sobre otros contenidos.

El servicio de sobreimposición es transmitido a través de un PES en la tabla PMT con un *stream type* o tipo de flujo de 0x06 en un ES independiente. El valor del *component tag* para sobreimposición está definido de 0x88 y 0x38 de acuerdo a la tabla 8.

Tabla 8

Señalización de la sobreimposición

Descripción	Tipo de flujo	Tag del componente
Sobreimposición para full-seg	0x06	0x38
Sobreimposición para one-seg		0x88

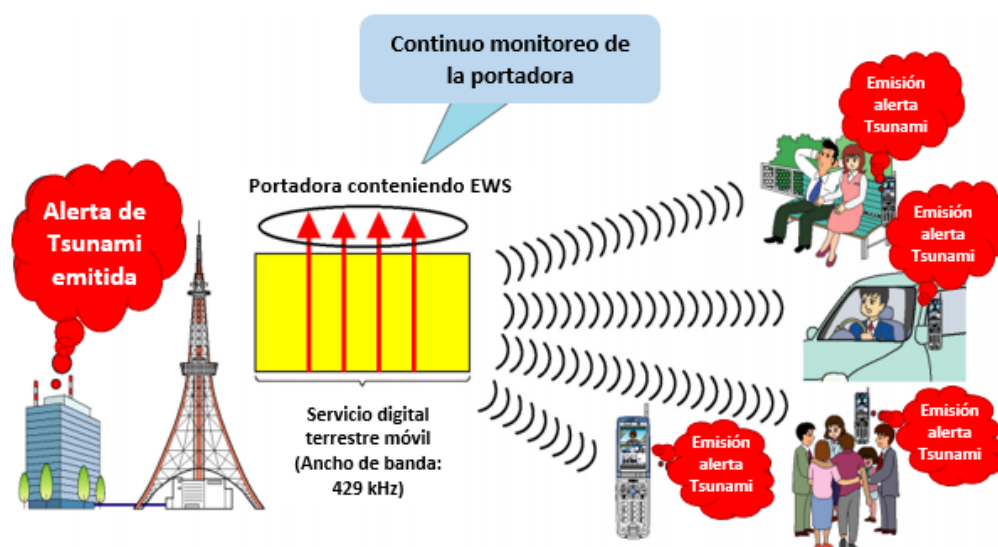
Nota. Se muestra la descripción del tipo de stream de acuerdo al tag del componente. Adaptada de Superimpose signaling, de ISDB-T HARMONIZATION DOCUMENT Part 3: Emergency Warning Broadcast System EWBS, 2015.

Flag de activación del TMCC

La agregación de la señal de activación a la información del TMCC permite que los receptores puedan demodular y decodificar la información al activarse remotamente, estos receptores pueden ser fijos como portátiles. Es así que las portadoras del TMCC deben estar siendo monitoreadas constantemente a pesar que se encuentre el receptor en stand by. En la figura 24 (Masayuli, 2008) se muestra un escenario en que existe la activación de la señal de emergencia y es notificada la alerta de tsunami a los receptores portátiles exclusivamente para One-seg.

Figura 23

Escenario de la recepción One-seg en dispositivos portátiles



Nota. Activación de la señal de emergencia en receptores portátiles mediante un monitoreo continuo de la portadora de EWS. Adaptada de Activación en la recepción móvil de EWS, de DiBEG Japan, 2008

En el estándar ISDB-T el bit asignado para la activación de la bandera de emergencia es el bit 26 del TMCC (ARIB, 2005). Cuando el flag de EWBS es '0' no hay control de inicio y si es '1' el control de inicio está disponible como se detalla en la tabla 9.

Tabla 9

Flag de activación de EWBS en el TMCC

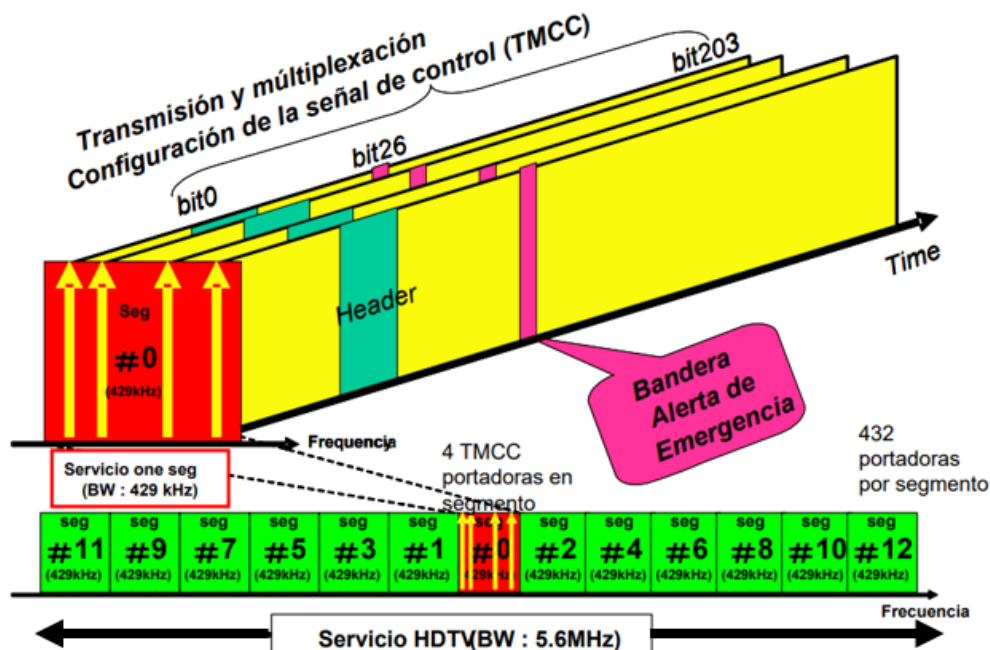
B ₂₆	Descripción
0	Sin control de inicio
1	Control de inicio disponible (Cuando se transmite una señal de alarma de emergencia)

Nota. Tabla de asignación de la bandera de emergencia. Adaptada de Start Flag for Emergency-Alarm Broadcasting, de ARIB STD-B31 Transmission System for Digital Terrestrial Television Broadcasting, 2005

En la figura 25 se puede observar la estructura del TMCC de 204 bits para el servicio de One-seg que tiene 4 portadoras en un ancho de banda de 429 kHz. Dentro de este segmento se agrega la señal para la activación de la bandera de emergencia del TMCC en el bit 26.

Figura 24

Bandera de emergencia en el TMCC para One-seg



Nota. Muestra la señal del TMCC con la bandera de emergencia. Adapta de la Ubicación de la señal EWS en ISDB-T, de DiBEG Japan, 2008

Radio Definida por software (SDR)

Introducción

En esta sección se describe la tecnología utilizada para la implementación del receptor de EWBS para el estándar ISDB-Tb, presentando de una manera clara los componentes que conforman su estructura y desarrollo del sistema. Se hablará del hardware y software empleado, como los lenguajes de programación que se maneja en el SDR.

La tecnología de radio definida por software o SDR es un sistema de radiocomunicación que proporciona una plataforma de radio reutilizable que brinda flexibilidad y la posibilidad de impulsar y mejorar las comunicaciones, mediante la utilización de transceptores de RF (filtros, moduladores, demoduladores, mezcladores, etc.) a banda base física y la ayuda de un procesador digital (Analog Devices, 2021). El uso de SDRs tiene como objetivo proporcionar varias herramientas que ayuden a la formación académica, brindando soluciones y diseños para los sistemas de comunicaciones inalámbricas del futuro.

La radio definida por software como se lo mencionó anteriormente, permite hacer uso de la reutilización del mismo equipo o hardware, pero con la diferencia que solo se debe realizar modificaciones en el software con un computador personal (PC de escritorio o laptop). Los equipos SDR pueden ser utilizados para diferentes aplicaciones y comercialmente pueden transmitir o recibir señales en diferentes rangos de frecuencias o en función a la robustez del SDR realiza ambas funciones, considerando el costo del mismo.

A continuación, en la tabla 10 se listará algunos de los equipos se lista algunos de los dispositivos SDRs que se pueden encontrar en el mercado.

Tabla 10

Dispositivos SDR encontrados en el mercado

Nombre	Tx	Frecuencia min. (MHz)	Frecuencia max. (MHz)	Ancho de banda (MHz)	Precio (USD)
RTL-SDR	No	24	1766	3.2	30
ADALM-PLUTO	Si	325	3800	20	249
ADALM-PLUTO (rango extendido)	Si	70	6000	56	249
USRP B200	Si	70	6000	56	902
USRP 2920	Si	50	2200	40	4400

Nota. Dispositivos SDR y su precio en el mercado

Los SDRs pueden ser utilizados para diferentes aplicaciones como la implementación de distintos estándares inalámbricos como radio AM, FM, Wifi, LTE, GSM, ZigBee e ISDB-T (MathWorks, s.f.).

Luego de analizar las características y las aplicaciones que se puede llegar a realizar se define al dispositivo SDR Adalm-Pluto como el más adecuado para lo que concierne el desarrollo de un transmisor y receptor para el estándar ISDB-Tb dentro de los proyectos planteados por la universidad teniendo en cuenta su amplio rango de trabajo en relación al USRP 2920 que tiene la misma funcionalidad (Tx y Rx), pero mucho más costoso.

Equipo de Radio Definida por Software Adalm-Pluto

El equipo ADALM-PLUTO o comúnmente conocido como PlutoSDR de la empresa Analog Devices es una herramienta de comunicación inalámbrica con radio definida por software (SDR) fácil de usar y de bajo costo que puede ser empleado para Radio Frecuencia (RF), tecnologías de Internet inalámbrica, telefonía celular, radio cognitivo, analizador de espectro y aplicaciones académicas, etc. (Getz, 2021).

El módulo PlutoSDR tiene la capacidad de ser un transmisor y receptor con dos antenas GSM, el mismo que es empleado en ciertos casos en actividades académicas. Permitiendo a los estudiantes fortalecer sus conocimientos de radio frecuencia, llevado el estudio al mundo de la radio definida por software, por medio de la práctica y así, asegurar que los estudiantes de tecnología e ingeniería tengan una base sólida de las comunicaciones inalámbricas. El equipo Adalm-Pluto de Analog Devices se muestra en la figura 25.

Figura 25

Equipo de Radio Definida por Software (SDR) Adalm-Pluto



Nota. Carcasa del SDR Adalm-Pluto

Panel frontal y vista completa de conectores y elementos del PlutoSDR

La estructura física/visual o externa del equipo Adalm-Pluto tiene puertos o conectores SMA (SubMiniature version A) de 50 Ω para la conexión de las antenas de transmisión y recepción del dispositivo y entradas USB para datos y alimentación. Es un dispositivo compacto y de bajo costo como se muestra en la figura 26.

A continuación, se describe la vista externa del equipo:

1. Equipo SDR Adalm-Pluto de Analog Devices
2. Conector SMA hembra de 50 Ω para transmisión (Tx)
3. Conector SMA hembra de 50 Ω para recepción (Rx)
4. Indicadores LEDS
5. Entrada o interfaz micro USB 2.0 para datos y alimentación
6. Entrada o interfaz micro USB 2.0 para alimentación externa
7. Antenas GSM para Tx y Rx

Figura 26

a) Vista frontal del SDR Adalm-Pluto, b) Vista superior e inferior del SDR Adalm-Pluto, c) Antenas GSM del transmisor y receptor



Nota. La figura muestra la vista externa del SDR Adalm-Pluto

Adicionalmente el equipo Adalm-Pluto tiene un cable USB 2.0 a micro USB que permite la conexión entre el ordenador personal (PC o laptop) y el puerto de entrada del dispositivo PlutoSDR que es el mecanismo de comunicaciones (Ethernet, USB) para devolver los datos de fase y cuadratura IQ al host que es el encargado de procesar los datos con el software.

Figura 27

a) Cable USB a micro USB 2.0, b) Conector SMA macho y SMA hembra



Nota. La figura muestra el cable USB a micro USB 2.0 y el conector SMA de la antena

Además, en la figura 27 se muestra el conector SMA-macho y SMA-hembra que conecta a la antena transmisora y receptora.

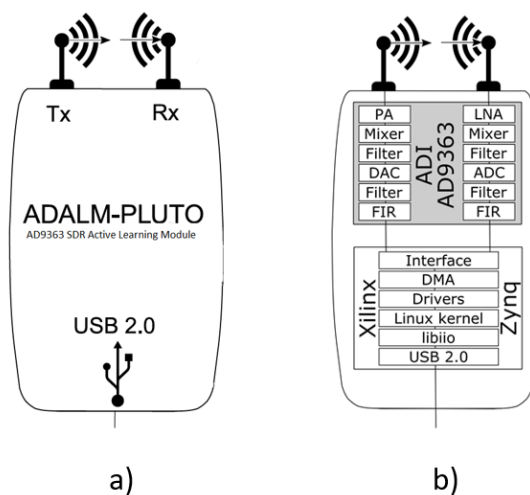
Componentes del SDR Adalm-Pluto

La interfaz de radio del equipo PlutoSDR comprende un componente único en un sistema de comunicaciones que normalmente estaría conformado de filtros externos y antenas específicas de banda (Collins, Getz, Pu, & Wyglinski, 2018). El Adalm-Pluto que se muestra en la figura 28 (a) está compuesto por dos componentes. La primera parte consiste en una sección de radiofrecuencia analógico que muestra a su sistema de transmisión y recepción, mientras la segunda sección es el mecanismo de comunicaciones (Ethernet, USB) para enviar los datos al ordenador (host) y puedan ser procesados.

En relación con la figura 28 (b) los aspectos principales del equipo Adalm-Pluto se detallan a continuación:

Figura 28

Diagrama de bloques simplificado del equipo Adalm-Pluto desde la carcasa, b) Entradas/Salidas (I/O) en el Adalm-Pluto



Nota. Reproducido de Software-Defined Radio Active Learning Module, de Analog Devices,

2017

- La sección de RF analógica (antena de Tx y Rx, filtros de RF, amplificadores de bajo ruido (LNA), mux de entrada, mezcladores, atenuación y ganancia) como se lo mencionó anteriormente.
- La sección de banda base compuesta por filtros (ADC o DAC) y;
- Una sección que contiene las diferentes unidades de procesamiento de señales (filtros fijos dentro de un transceptor u otros definidos por el usuario como una FPGA (Field-programmable gate array), un DSP (Digital signal processor) o un procesador de propósito general).

Características técnicas del SDR Adalm-Pluto

Las características técnicas del equipo son (Analog Devices, 2017):

- Módulo de aprendizaje de RF autónomo portátil
- Cobertura de radiofrecuencia de 325 MHz a 3800 MHz
- Ancho de banda de 20 MHz con la opción de rango extendido de 54 MHz
- Frecuencia de muestreo de 65.2 kSPS a 61.44 MSPS
- Conversores ADC y DAC de 12 bits
- Funcionamiento del transmisor y receptor en half dúplex o full dúplex
- Interfaz de entrada para alimentación por USB con conector micro-USB 2.0
- Un transmisor y un receptor (conector SMA hembra de 50 Ω)
- Utiliza librerías Libiio, C, C++, C# y Python API (pyadi-iio)
- Puede operar en el rango extendido de 70 MHz a 6000 MHz realizando unos cambios en el transceptor (AD9363 por defecto del Adalm-Pluto al AD9364)
- Potencia máxima de transmisión de 7 dBm
- Precisión de modulación (EVM) de -34 dB (2%)
- Interfaz de alimentación externa DC (USB) de 4.5 V a 5.5 V

- Soporta GNU Radio que proporciona bloques de procesamiento de señales y gr-modtool para creación de bloques en C y en python
- Soporta el software MATLAB para líneas de código y Simulink para programación en bloques
- Basado en Analog Devices AD9363 - Transceptor de RF Agile Transceiver and Xilinx Zynq Z-7010 FPGA
- Configurado para ejecutarse como un dispositivo IP, el puerto USB es un puente USB a Ethernet (Dirección IP por defecto: 192.168.2.1)

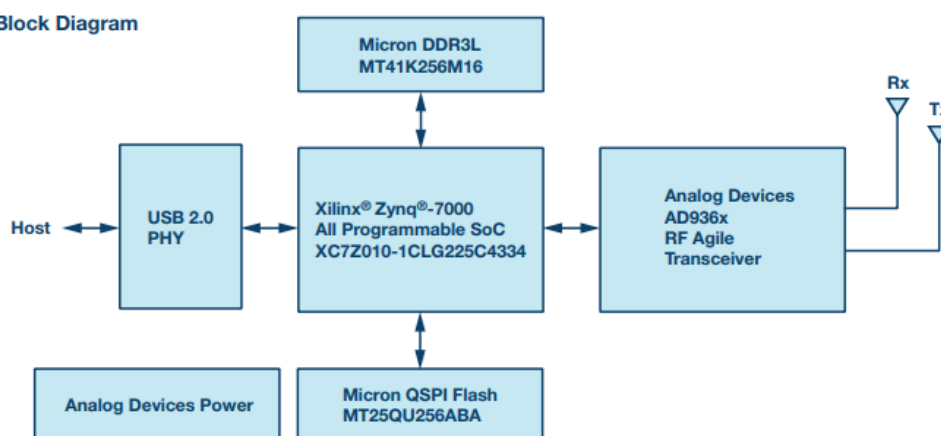
Una de las desventajas que se presenta al tener un amplio rango de cobertura de 70 MHz a 6000 MHz, se debe a que al momento de la transmisión y recepción de la señal de banda del PlutoSDR no posee filtros, por tal razón, todo lo que se transmita en el rango de 70 a 6000 MHz en la parte de la recepción incluido ruidos externos será capturado por el equipo afectando a la señal. El inconveniente se presenta cuando se recibe una señal de muy baja amplitud. En el Anexo 2 se encuentra la Hoja Técnica del SDR Adalm-Pluto.

Arquitectura del Adalm-Pluto

El diagrama de bloques general y simplificado del PlutoSDR se muestra en la figura 29 (Analog Devices, 2017), que describe la capa física del equipo. Como se lo mencionó en la sección de componentes del SDR Adalm-Pluto de la figura 28 (b) existen tres secciones: una sección de RF analógico, una sección de banda base analógica y una sección para el procesamiento de señales. El PlutoSDR cuenta con dos canales, uno de transmisión y uno de recepción que operan en full dúplex. La entrada de USB 2.0 que funciona para datos y alimentación más una entrada de alimentación extra.

Figura 29

Diagrama de bloques simplificado del Adalm-Pluto



Nota. Muestra el diagrama de bloques simplificado del Adalm-Pluto. Reproducida de Simplifield Block Diagram, de Analog Devices, 2017

Descripción del transceptor AD9363 de Analog Devices

El equipo Adalm-Pluto está conformado por un transceptor AD9363 de Analog Devices capaz de capturar y digitalizar los datos de radiofrecuencia.

Para comprender como trabaja el SDR desde la constitución física del equipo, se muestra en la figura 30 (Kock, 2020) el diagrama de bloques del AD9363 de lo cual discutiremos a continuación desde el punto de vista del receptor. En la parte izquierda de la recepción se encuentra un amplificador de bajo ruido (LNA) que proporciona ganancia analógica, el cual es un componente del Control de Ganancia Automática (AGC) de la recepción.

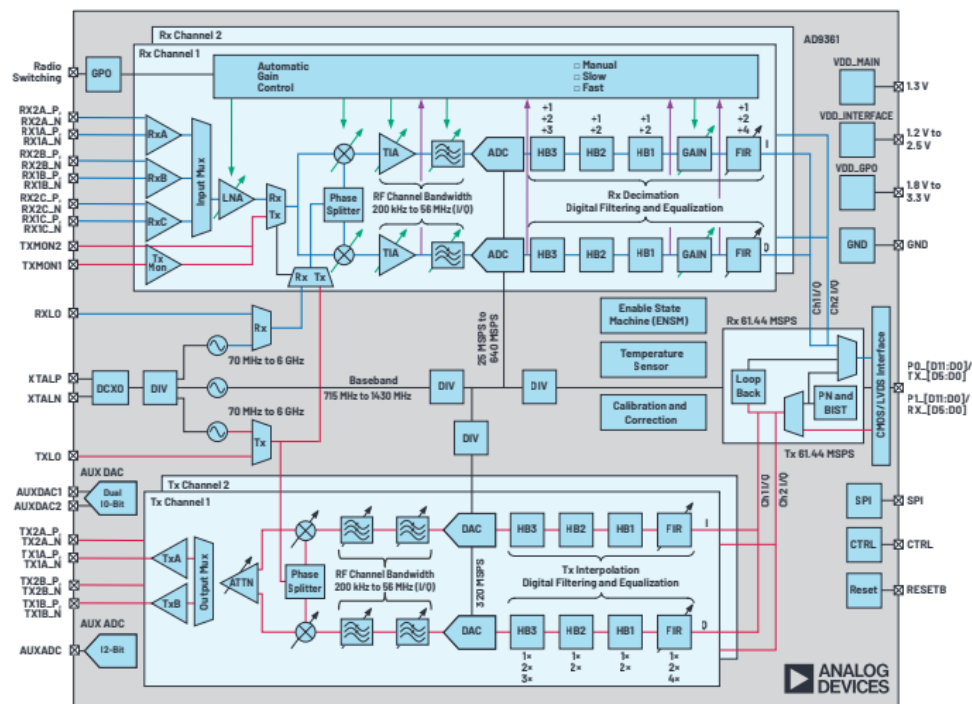
Después del LNA está el mixer que opera en el rango de 325 MHz a 3800 MHz y es el responsable de la traducción de la frecuencia directa o ZeroIF que no requiere una etapa de frecuencia intermedia (IF). En el proceso de mezcla, la señal se divide en dos caminos idénticos, uno de ellos crea las componentes de fase y cuadratura de la señal invirtiendo la fase del reloj del mixer, para que luego la señal sea filtrada y eliminar los efectos del aliasing de la señal ahora

mezclada y así, evitar o disminuir la interferencia y ruidos. Posteriormente se encuentra el Amplificador de Transimpedancia combinado (TIA) y el filtro analógico que se configuran juntos para mantener el ancho de banda analógico para que oscile entre 200 kHz y 20 MHz.

Finalmente, el AD9363 cuenta con una etapa de conversión digital (ADC) y diezmado. El ADC se encargará de proporcionar los 12 bits y luego seguido de algunas etapas de diezmado (Collins, Getz, Pu, & Wyglinski, 2018).

Figura 30

Diagrama de bloques del AD9363



Nota. Diagrama de bloques del transceptor AD9363 de Analog Devices. Tomado de ADALM-PLUTO and its transceiver AD9363, de Analog Dialogue Vol 54, 2020

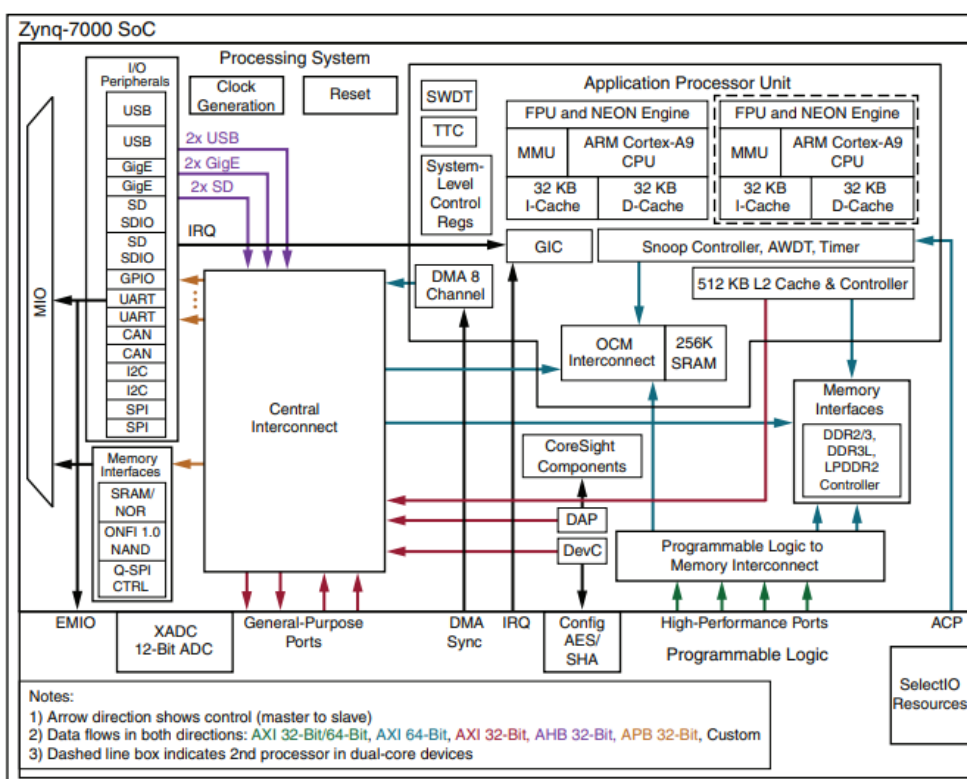
Descripción de Xilinx Zynq-7000 System on Chip (SoC)

En esta sección se brindará una visión general de la familia Zynq-7000. Luego de que los datos son digitalizados pasan al Xilinx Zynq System on Chip (SoC) que se presenta en la figura 31 (Xilinx, 2018), el cual es capaz de brindar flexibilidad y escalabilidad en una FPGA al mismo

tiempo que proporciona rendimiento, facilidad y potencia en un ASIC (Circuito integrado para aplicaciones específicas). Las CPUs ARM Cortex-A9 son el corazón del Sistema de Procesamiento (PS), basados en Lógica Programable (PL). El Zynq es empleado como el controlador principal en el Adalm-Pluto que también incluye memoria en chip, interfaces de memoria externa y un amplio conjunto de interfaces externas.

Figura 31

Arquitectura del Zynq-7000 SoC



Nota. Diagrama de bloques del Zynq-7000. Tomado de Architectural Overview, de Zynq-700 SoC Data Sheet: Overview, 2018

Una vez que los datos de fase y cuadratura (IQ) de recepción digital del AD9363 son transferidos a la FPGA, el núcleo del Zynq los escribe en la memoria externa del Adalm-Pluto produciéndose un cambio de muestras continuas en el búfer (Collins, Getz, Pu, & Wyglinski, 2018).

La modificación y configuración del rango de Radiofrecuencia del Adalm-Pluto es realizada en el transceptor de RF cambiando el chip AD9363 (por defecto ADALM-PLUTO) y el AD9364. El procedimiento para la configuración del extensor de rango del PlutoSDR se encuentra en el Anexo 3, lo que permitirá diferentes tipos de aplicaciones.

Software

El equipo Adalm-Pluto como se describió en las características técnicas del SDR, puede ser utilizado para el desarrollo de software en Matlab para programación de código, Simulink para programación en bloques y GNU Radio para programación en bloques y líneas de código en la creación de nuevos módulos. Todas estas herramientas permiten crear sistemas de telecomunicaciones robustos, pero como se menciona en el cuadro comparativo de los firmwares del USRP 2920 por el Ing. Jordy Garzón, establece que GNU Radio presenta mejores prestaciones en cuanto al entorno gráfico en relación a Simulink y cuenta con varios bloques de procesamiento para la generación de un archivo.ts al recuperar la información del Transport Stream y extraer la señal EWBS.

GNU Radio

GNU Radio es una herramienta de desarrollo de software de código abierto que posee bloques de procesamiento de señales enfocado a la creación de sistemas de telecomunicaciones. GNU Radio puede ser utilizado de dos maneras: la primera de ellas es mediante hardware de RF externos para la creación de radios definidas por software y la segunda opción solamente empleando los bloques de procesamiento del entorno de simulación (GNU Radio, 2021).

Este software ha sido empleado para un sinnúmero de aplicaciones enfocadas al ámbito académico y el desarrollo de investigaciones en comunicaciones inalámbricas que incluyen sistemas de radar, procesamiento de audio, redes GSM, comunicaciones móviles, entre otros.

Este software está disponible en Linux, Windows y Mac OS. En el Anexo 4 apartado A se encuentra la instalación del software GNU Radio en conjunto con el USRP UHD y los módulos a utilizarse para el desarrollo de este proyecto.

Es importante conocer algunos términos y conceptos que se utiliza en el entorno de GNU Radio (López, 2017):

- **Scheduler:** es el tronco principal de GNU Radio, el mismo que se ocupa de la generación de los hilos y unión de los bloques. El diagrama de bloques en GNU Radio es ejecutada de forma concurrente.
- **Bloque:** corresponde a un subsistema dentro del diagrama de bloques que realiza una determinada función. Puede tener una o más entradas o salidas de acuerdo a la operación que realice el bloque. Un bloque puede ser construido mediante programación (C++ o Python) o de forma gráfica mediante un bloque jerárquico en GNU Radio.
- **Diagrama de bloques:** interconectan diversos bloques de procesamiento en un sistema completo y listo para ser ejecutado. Normalmente se genera un script en lenguaje Python de forma automática al utilizar GNU Radio Companion (GRC).
- **Bloque jerárquico:** forman parte de bloques especiales para la construcción de un bloque principal. Generalmente dependen de otros para mantener un orden de los diagramas de bloques (flowgraphs) en GRC.
- **Módulo:** está constituido por bloques organizados en GNU Radio que permiten realizar diferentes aplicaciones. Se puede crear bloques de procesamiento con nuestro propio código o desarrollado por otras personas. Los módulos están identificados como “gr-[nombre]”. Donde “nombre” representa la etiqueta del módulo, por ejemplo: gr-isdbt y gr-oneseg.

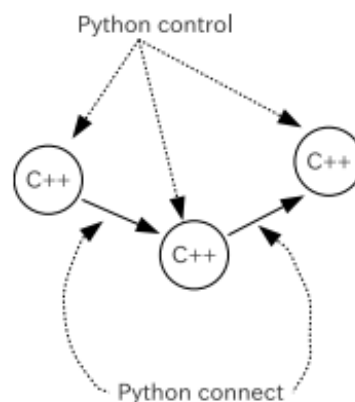
- **Puerto:** representa la entrada o salida de un bloque de procesamiento que puede manejar varios tipos de datos (complex, float, integer, byte, etc.).

Módulo Out Of Tree

Un módulo OOT (en inglés, Out Of Tree) es un componente de GNU Radio que permite agregar una funcionalidad adicional junto con el código principal. La herramienta *gr-modtool* es utilizada para la creación de bloques OOT que tiene como objetivo ayudar con la edición de archivos *make* y haciendo todo el trabajo posible para que pueda saltar directamente a la codificación del Procesamiento Digital de Señales (DSP) (GNU Radio, 2021).

Figura 32

Programación en GNU Radio



Nota. Muestra la estructura de programación en GNU Radio. Tomado de GNU Radio

Programming, de Performance Evaluation of Front-End Signal Processing Receiver for ISDB-T

1SEG Software Defined Radio, 2010

Las aplicaciones de GNU Radio están basadas en lenguaje de programación python mientras que si se requiere de un alto rendimiento se implementa en C++. Como se muestra en la figura 32 el lenguaje de programación en C++ se utiliza para el DSP definido por el software y

el lenguaje Python para la conexión y control DSP de los bloques en C++ (Miyano & Wada, 2010).

Estos lenguajes de programación se conectan empleando SWIG (*Simplifield Wrapper and Interface Generator*) que es una herramienta de desarrollo de software (SWIG, 2019).

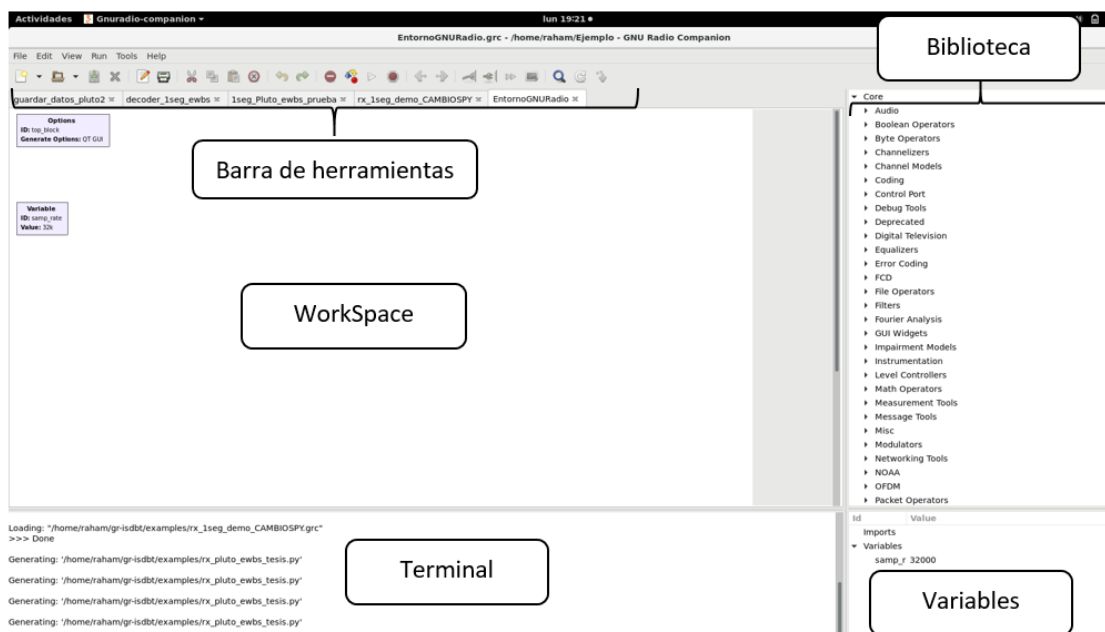
Además, SWIG es capaz de exportar su árbol de análisis en lenguaje XML que es utilizado para la descripción gráfica de los bloques en GNU Radio.

Entorno de GNU Radio

El entorno de GNU Radio cuenta con una interfaz gráfica como se muestra en la figura 33 permite diseñar una programación en forma de diagramas de bloques para el tratamiento y manejo de las señales para radios definidas por software o solo en el entorno de simulación. A continuación, se hará una descripción de la interfaz de GNU Radio Companion.

Figura 33

Entorno de GNU Radio Companion



Nota. Interfaz de programación en bloques de GNU Radio

- **Barra de herramientas:** presenta las herramientas para el control del área de trabajo (ejecutar, evaluar y corregir) en el diagrama de bloques desarrollado.
- **Workspace:** interfaz donde se realiza la programación en bloques y se colocan las variables a utilizar en el procesamiento de señales.
- **Biblioteca:** ubicación de todos los bloques para el DSP del entorno por defecto de GNU Radio y los del usuario divididos en diferentes categorías.
- **Terminal:** panel que muestra la impresión de los mensajes de los bloques de GNU Radio.
- **Variables:** espacio donde se detalla las variables en bloques definidas en el Workspace.

Una vez familiarizado con el entorno de GNU Radio y las diferentes funcionalidades que presenta esta potente herramienta para radios definidas por software se procede a dar paso a la implementación del sistema de recepción de EWBS.

Capítulo III

Diseño e implementación del sistema de recepción de una señal de emergencia en el estándar ISDB-Tb

Introducción

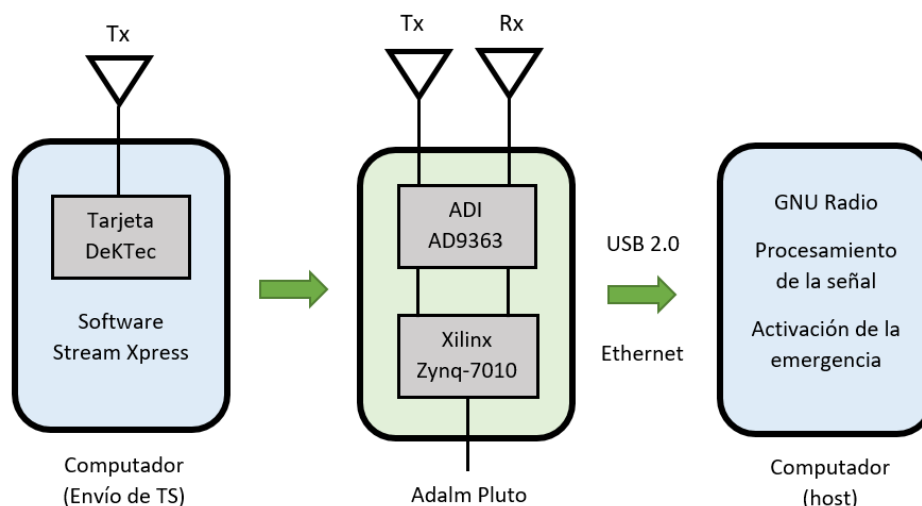
En el presente capítulo se puntualiza el procedimiento empleado para el diseño e implementación del receptor de una señal de emergencia en el estándar ISDB-Tb. Se pondrá en conocimiento los bloques de procesamiento desarrollados en GNU Radio para la lectura del descriptor de emergencia, que está contenido en la tabla PMT en conjunto con la extracción de los códigos de área del lugar (provincia, cantón) en el que se detecta la emergencia. Además, se mostrará la información del TMCC, la activación del flag de EWBS y en detalle la interpretación de la tabla PMT, el descriptor de emergencia y la lectura del texto de superposición del mensaje de emergencia.

Arquitectura del Sistema

El diagrama de bloques que se muestra en la figura 34 representa el diseño general del sistema a implementarse para la recepción de la señal de televisión digital terrestre que contiene la información de emergencia. En el esquema general se observa el computador que posee el Software StreamXpress, el cual se lo utiliza para transmitir un flujo de datos o Transport Stream al modulador DekTec para la difusión o envío de la señal. Posteriormente se encuentra el Adalm-Pluto que es la herramienta de comunicaciones con Radio definida por Software quién estará conectado al host (laptop, computadora) por medio de conexión USB o ethernet para el procesamiento de la señal en GNU Radio.

Figura 34

Diagrama de bloques del sistema general



Escenario del sistema

Los elementos o dispositivos que conforman el sistema a implementarse a nivel de hardware desde que se transmite el TS con el mensaje de emergencia EWBS cumplen una función importante, por tal motivo se hace una breve descripción de las características de hardware y software a continuación. En la figura 35 se presenta el escenario del sistema a implementarse.

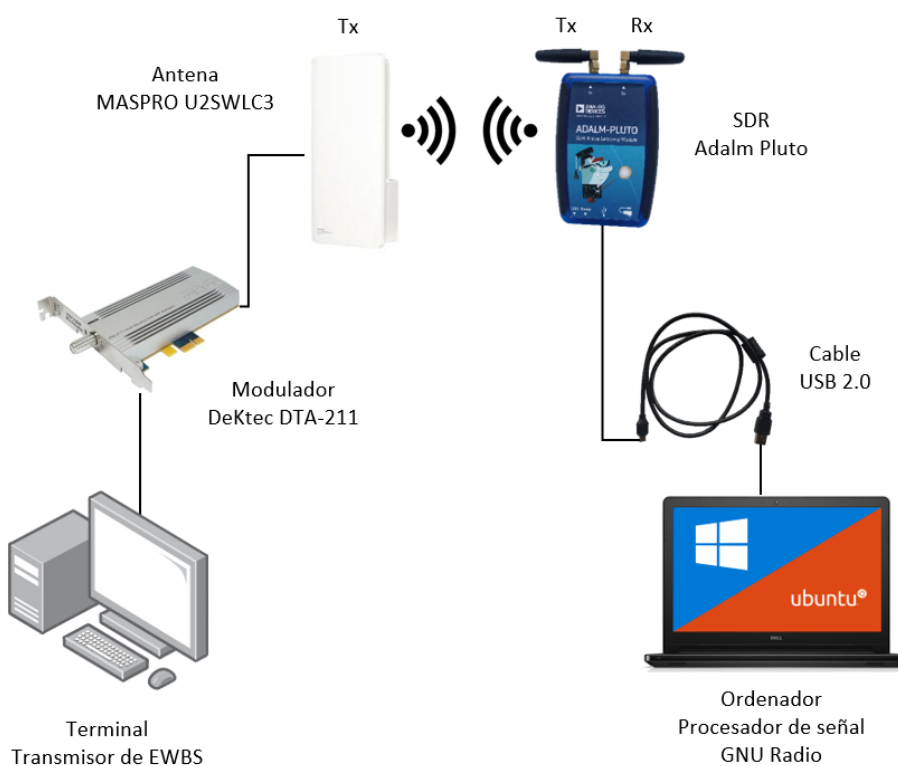
Hardware

- **Computador o terminal transmisor de EWBS:** posee el software StreamXpress que permite cargar el archivo TS que contiene la información del sistema de alerta de emergencia EWBS, para transmitirlo por medio del modulador que es controlado por el software.
- **Modulador:** tarjeta DeKtec DTA-211 que admite frecuencias en el rango de VHF y UHF con modulaciones basadas en QAM, OFDM y VSB, el mismo que convierte la señal del TS al canal de UHF que implementa los estándares de ISDB-Tb, ya que es el encargado de multiplexar el TS para generar un BTS y pueda ser transmitido.
- **Antena:** se conecta a la salida del modulador para transmitir la señal.

- **SDR Adalm Pluto:** Un equipo de Radio Definida por Software (SDR) como el Adalm Pluto, el cual debe trabajar en el rango de UHF (300 MHz a 3000 GHz) para el estándar ISDB-Tb, contiene un chip ADI AD9363, una FPGA Xilinx Zynq-7010 (Core ARM Cortex A9) y una interfaz USB 2.0.
- **Ordenador (procesador de señal):** un computador, en este caso en particular se utiliza una laptop Dell con procesador Intel Core i7 y 1.99 GHz de procesamiento, memoria RAM de 16 GB, sistema operativo de 64 bits, tarjeta gráfica Radeon, 2 puertos USB 3.0 y 1 puerto USB 2.0 para establecer comunicación con el PlutoSDR.

Figura 35

Escenario del sistema



Nota. Representa el esquema de conexiones del escenario del sistema

Software

- **Sistema Operativo Linux:** el sistema operativo empleado en el computador (laptop) es una distribución de Linux (Ubuntu 18.04) previo a una partición del disco duro (Linux/Windows) para un mayor rendimiento con el software de procesamiento GNU Radio de código abierto.

- **Drivers:** instalación de drivers del Adalm Pluto y librería Libbio para que sea un bloque de procesamiento funcional dentro del GNU Radio.
- **Software StreamXpress:** generador de flujo de prueba instalado en el terminal del transmisor de alto rendimiento y bajo costo utilizando el modulador de salida DekTec DTA-211.

Cada uno de los requerimientos a instalarse para el funcionamiento del Adalm Pluto deben ir acorde al Kernel de Linux. La librería Libbio se encuentra en el proyecto GitHub, la misma que es utilizada para interactuar con el subsistema de Linux (IIO) de entrada / salida industrial (Analog Devices, 2020) y los drivers de Linux en Analog Devices para el plutoSDR son necesarios para acceder a las funciones USB sin privilegios de root (Analog Devices, 2019).

Diseño e implementación del algoritmo de recepción de One-seg para la lectura del mensaje de emergencia

Descripción

El desarrollo del algoritmo de procesamiento en GNU Radio que se muestra en la figura 36, está constituido por diagramas de bloques para la recepción de One-Seg y el Sistema EWBS. El algoritmo implementado es un sistema que permite recibir la señal de televisión digital abierta en tiempo real a una frecuencia determinada en el rango de UHF. Está conformado por diferentes variables de control, bloques QT GUI (chooser, range, tab widget) que contemplan un cuadro combinado de opciones de selección, una variable de selección de variación de rango y un bloque para organizar otras pestañas o widgets respectivamente, además de otros bloques QT GUI del tipo Sink (Frequency, Number, Time, Constellation, File) que muestran de forma gráfica la señal en las diferentes etapas de procesamiento. Las gráficas permiten mostrar el desempeño del estándar mediante las medidas objetivas.

El algoritmo recibirá la señal transmitida por el computador de laboratorio con el software StreamXpress y procesará el sistema EWBS que activará el flag de la emergencia con

los bloques desarrollados y programados en lenguaje Python (Read EWBS, Flag EWBS y Emergency Message) que se describirá más adelante.

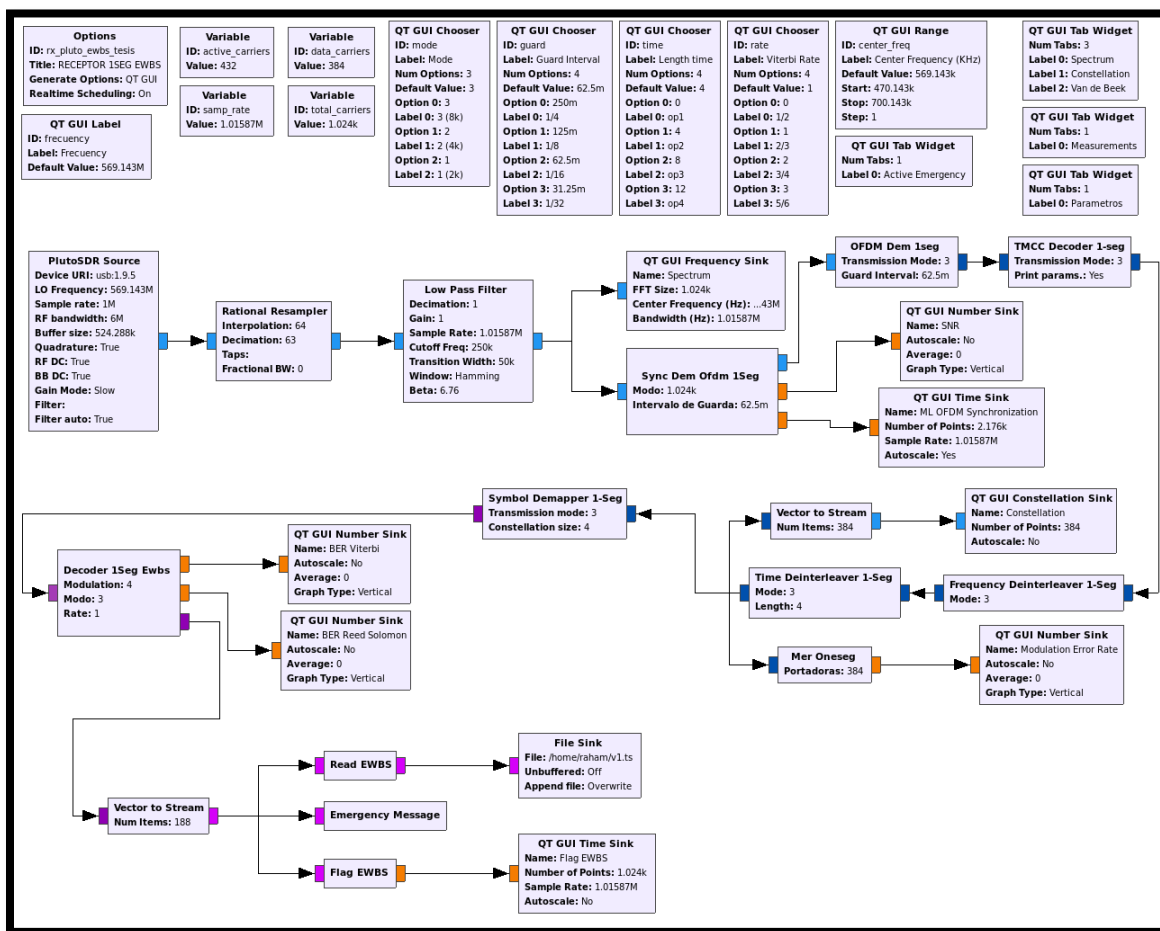
Como se lo mencionó en el Capítulo II, este proyecto de investigación utiliza los bloques de procesamiento elaborados en el trabajo de titulación del Ing. Jordy Garzón del módulo gr-one-seg (Garzón, 2018), los mismo que fueron basados en el algoritmo desarrollado por la Universidad de Montevideo de Uruguay que se encuentran en el módulo gr-isdbt (Flores P. , 2016) y presenta una arquitectura basada en bloques de GNU Radio de un transceptor de ISDB-T, es decir receptor y transmisor para evitar el uso de equipos costosos de Televisión Digital. Además, mediante el módulo gr-mer se podrá utilizar algoritmos en bloques que cumplirán el objetivo de analizador de señales como Viterbi, Reed-Solomon, MER y SNR.

El algoritmo para este proyecto será implementado bajo el SDR Adalm Pluto, el mismo que puede trabajar a una frecuencia de muestreo máxima cuando se recibe de forma continua de 4 a 5 MHz, a pesar de que el dispositivo pueda trabajar en su rango extendido en una frecuencia máxima de 56 MHz no se excederá de los rangos permitidos por el fabricante, debido a que dicha frecuencia solo puede ser utilizada para ráfagas cortas, además que se está trabajando a la frecuencia de One-Seg de 1.01578 MHz.

La arquitectura de bloques de ISDB-T del módulo gr-isdbt permite el procesamiento de la señal en una frecuencia de 6 MHz, misma que será adaptada a las recomendaciones de módulo gr-oneseg para la implementación en el USRP-2920 y no exceder el rango la frecuencia de muestreo máxima de forma continua del Adalm Pluto para la obtención de las características del sistema de alerta de emergencia.

Figura 36

Algoritmo de recepción One-seg con el sistema de alerta de emergencia



Nota. Diagrama de bloques del algoritmo de recepción para One-Seg y extracción de EWBS en GNU Radio

Para utilizar los bloques de procesamiento antes mencionados es necesario descargar desde la raíz del proyecto Github los ficheros y carpetas necesarias para disponer de los bloques en el entorno de GNU Radio, los mismos que fueron programados en lenguaje de C++. Los bloques que se encuentran fuera del árbol OOT deben ser ejecutados a través de la terminal de Linux.

- git clone <https://github.com/Jordyggg/gr-oneseg.git>

- git clone https://github.com/git-artes/gr-isdbt.git
- git clone https://github.com/git-artes/gr-mer.git

Se debe realizar el mismo procedimiento para los módulos (*gr-isbt* y *gr-mer*), ya que se tomará como referencia el módulo *gr-oneseg* que es la base para el desarrollo del proyecto.

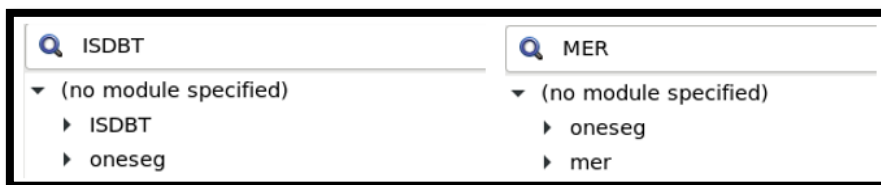
Una vez clonado el archivo se debe ingresar a la carpeta descargada para generar la carpeta “build” e ingresar a la misma donde se compilará los ficheros e instalarlos, como se muestra a continuación:

- cd gr-oneseg
- mkdir build
- cd build
- cmake ../
- make && sudo make install
- sudo ldconfig

Ejecutadas las instrucciones anteriormente listadas se podrá contar con las librerías (*oneseg*, *ISDBT*, *mer*) dentro de las categorías de GNU Radio para la utilización de los bloques como se observa en la figura 37. La instalación en detalle de los módulos (*gr-oneseg*, *gr-isbt* y *gr-mer*) se encuentran en el Anexo 4 apartado A.

Figura 37

Módulos gr-isdbt, gr-oneseg y gr-mer



Nota. Módulos instalados para la recepción de One-Seg

A continuación, se describe los bloques de procesamiento del PlutoSDR (Source y Sink), como el algoritmo basado en bloques del receptor de ISDB-Tb para One-seg en conjunto con la

creación y desarrollo de los bloques implementados en lenguaje Python para la extracción del mensaje de emergencia del TS.

Bloques del equipo Adalm Pluto o PlutoSDR

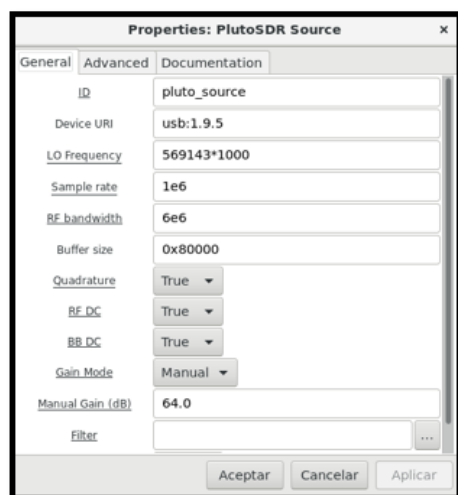
Se realizará una descripción de los bloques de procesamiento del Adalm Pluto que sirven para la recepción (PlutoSDR Source) y la transmisión (PlutoSDR Sink) respectivamente. Al tratarse de un receptor para el estándar ISDB-Tb para One-seg solo se dará uso del bloque PlutoSDR Source. La instalación de librerías y dependencias del módulo gr-iio del SDR Adalm-Pluto para GNU Radio se encuentran en el Anexo 4 apartado B y apartado C.

Bloque PlutoSDR Source

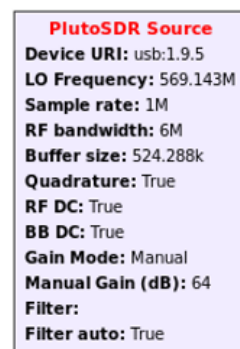
El bloque PlutoSDR Source puede ser configurado en función de las necesidades y de la aplicación que se esté llevando a cabo gracias a su amplio ancho de banda. En la figura 38 se muestra a lado izquierdo las propiedades del bloque y a su derecha el bloque de procesamiento en el entorno de GNU Radio.

Figura 38

PlutoSDR Source a) Propiedades b) Bloque de procesamiento



a)



b)

Nota. Descripción de los parámetros del PlutoSDR Source y su bloque en GNU Radio

La descripción de los parámetros del bloque se detalla en la tabla 11.

Tabla 11

Descripción del bloque PlutoSDR Source (Receptor)

Parámetro	Descripción
ID	Nombre de identificación del bloque de procesamiento.
Device URI	Este campo realiza la comunicación entre la PC y el Adalm Pluto. Puede emplearse la dirección ip del equipo como ip: 192.168.2.1 que viene por defecto o una dirección previamente configurada, además vía USB usando la URI como por ejemplo usb: 1.8.5.
LO Frequency (MHz)	Rango de frecuencia del oscilador local de RX entre 70 MHz a 6 GHz y sintonización de 1 Hz.
Sample rate (MSPS)	Frecuencia a la que el hardware (equipo) ingresará/emitará muestras definida en el rango de 65.2 KSPS a 61.44 MSPS.
RF Bandwidth (MHz)	Configura los filtros analógicos de recepción RX TIA LPF y RX BB LPF comprendido entre 200 kHz a 52 MHz. Por defecto configurado a 20 MHz.
Buffer size	Tamaño del buffer interno en muestras. El bloque solo ingresará un buffer de muestras a la vez. Para obtener la frecuencia de muestreo continua más alta se emplea un valor en millones, siendo el formato de escritura de este parámetro en decimal o hexadecimal.
Tracking	Quadrature, RF DC, BB DC.
Gain Mode	Selecciona uno de los modos disponibles como por ejemplo manual, slow, Hybrid y fast. Para algún tipo de aplicación de detección del espectro se recomienda utilizar la ganancia "manual".
Manual Gain (dB)	Se ingresa un valor en el rango de 0 a 71 dB. Por defecto el valor establecido es de 64 dB.
Filter	Permite cargar una configuración de filtro FIR desde un archivo
Filter auto	Cuando es habilitado, carga un filtro predeterminado y por tal razón permite velocidades de muestreo / banda base más bajas

Nota. Descripción de los parámetros del bloque PlutoSDR Source. Tomado de Analog Devices, de Using the PlutoSDR blocks, 2021, Obtenido de: <https://wiki.analog.com/resources/tools-software/linux-software/gnuradio>

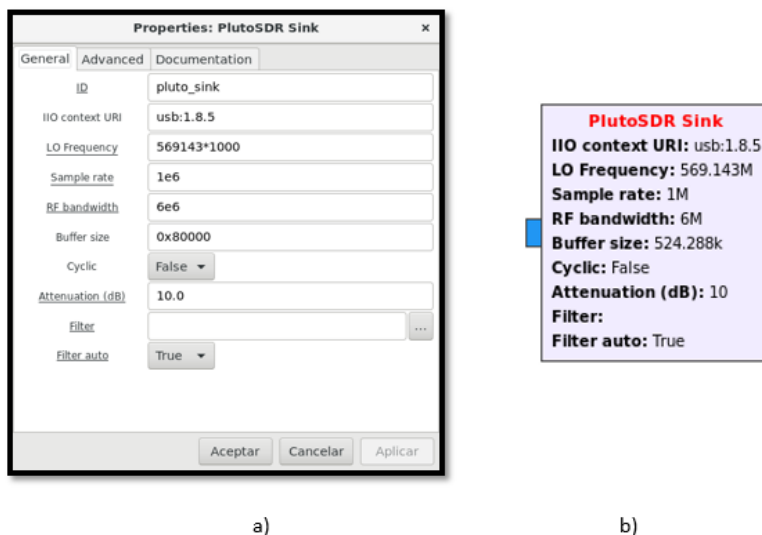
Bloque PlutoSDR Sink

El bloque PlutoSDR Sink luego de su modificación de rango extendido puede ser empleado de forma similar al PlutoSDR Source para varias aplicaciones dentro del rango de RF

de operación. En la figura 39 se observa al lado izquierdo las propiedades del bloque y a su derecha el bloque de transmisión del Adalm Pluto en el entorno de GNU Radio.

Figura 39

PlutoSDR Sink a) Propiedades b) Bloque de procesamiento



Nota. Descripción de los parámetros del PlutoSDR Sink y su bloque en GNU Radio

La descripción de los parámetros del bloque para transmisión se detalla en la tabla 12.

Tabla 12

Descripción del bloque PlutoSDR Sink (Transmisor)

Parámetro	Descripción
ID	Nombre de identificación del bloque de procesamiento.
IIO context URI	Campo que realiza la comunicación entre la PC y el Adalm Pluto. Emplea la dirección ip por defecto del equipo ip:192.168.2.1 o una configurada. Tanto en transmisor como el receptor no deben estar configurados en la misma red. Además, puede ser conectado vía USB usando la URI como por ejemplo usb: 1.9.5.
LO Frequency (MHz)	Rango de frecuencia del oscilador local de TX entre 70 MHz a 6 GHz y sintonización de 1 Hz.
Sample rate (MSPS)	Frecuencia a la que el hardware (equipo) ingresará/emitará muestras definida en el rango de 65.2 KSPS a 61.44 MSPS.
RF Bandwidth (MHz)	Configura los filtros analógicos de transmisión: TX BB LPF y TX Secondary LPF, comprendido entre 200 kHz a 52 MHz.

Parámetro	Descripción
Buffer size	Tamaño del buffer interno en muestras. El formato de escritura de este parámetro es en decimal o hexadecimal.
Cyclic	Configure en “True” si desea el modo cíclico, por defecto “False”.
Attenuation (dB)	Controla de forma individual la atenuación del transmisor. Rango comprendido entre 0 a -89.75 dB en pasos de 0.25 dB, siendo 0 el valor de máxima atenuación.
Filter	Permite cargar una configuración de filtro FIR desde un archivo.
Filter auto	Cuando es habilitado, carga un filtro predeterminado.

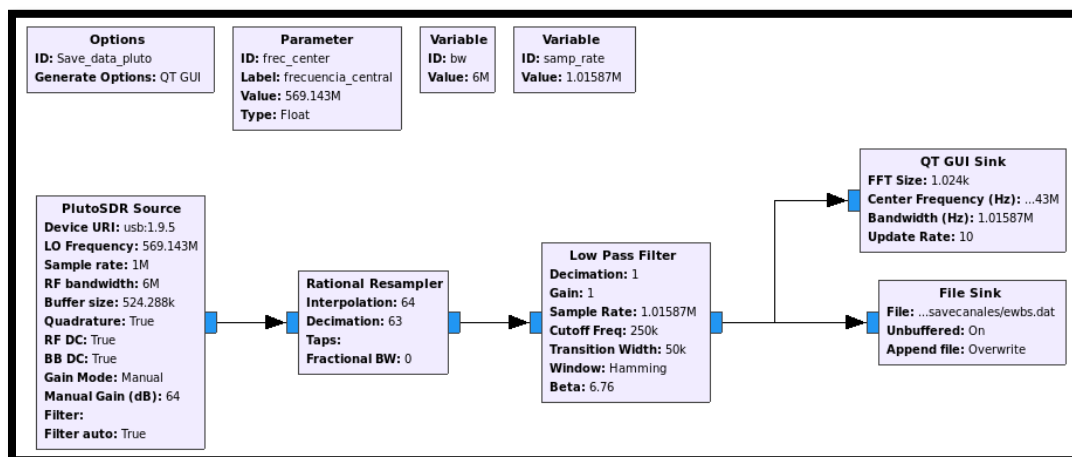
Nota. Descripción de los parámetros del bloque PlutoSDR Sink. Tomado de Analog Devices, de Using the PlutoSDR blocks, 2021, Obtenido de: <https://wiki.analog.com/resources/tools-software/linux-software/gnuradio>

Grabador de la señal (TS)

Para comprender como funciona GNU Radio Companion y el bloque PlutoSDR Source en la figura 40 se muestra el diagrama de bloques de un grabador de señal en un segmento para almacenar la señal en un *archivo.dat* mediante el bloque *File Sink*.

Figura 40

Algoritmo para recibir una señal y grabarla



Nota. Diagrama de bloques del grabador de la señal

El bloque *PlutoSDR Source* accede a las muestras del equipo Adalm Pluto conectado a uno de los puertos USB 2.0 del ordenador. Este bloque de procesamiento tiene diferentes parámetros que son configurados para la recepción de la señal. En este caso el SDR puede ser configurado mediante su dirección ip: X.X.X.X o el usb: X.X.X como por ejemplo su ip por defecto (ip: 192.168.2.1) o el puerto usb que reconoce el ordenador (usb:1.9.5). La frecuencia central de 569.143 MHz), correspondiente al canal físico 30, la frecuencia de muestreo de forma continua no puede exceder los 4 o 5 MHz, por tal motivo se coloca una frecuencia de (1 MHz) cercana a la frecuencia de One-Seg que puede lograr el equipo. El ancho de banda de (6 MHz), el tamaño del buffer interno de muestras de (524.288k o 0x8000) y ganancia de forma manual de (64 dB).

Las muestras ingresan al bloque *Rational Resampler* que permite cambiar la frecuencia de muestreo de la señal entrante que debe ser lo más cercano a la frecuencia teórica One-seg (1.015873016 MHz). Para aplicar el remuestreo a la señal entrante se emplea la siguiente ecuación en este bloque (Luna, 2019):

$$F_{S(out)} = \left(\frac{Interpolation}{Decimation} \right) \times F_{S(in)} \quad (2)$$

Donde:

- $F_{S(out)}$: representa la frecuencia a la salida del bloque
- $F_{S(in)}$: representa la frecuencia a la entrada del bloque
- *Interpolation*: corresponde al factor que incrementa la tasa de muestreo (entero)
- *Decimation*: corresponde al factor que decrementa la tasa de muestreo (entero)

Para obtener el factor de interpolación y de diezmado se despeja de la ecuación (1) como se muestra a continuación:

$$\frac{Interpolation}{Decimation} = \frac{F_{S(out)}}{F_{S(in)}} = \frac{1.015873016 [MHz]}{1 [MHz]} = \frac{64}{63} = \frac{64}{63}$$

Los valores conseguidos permiten obtener una nueva tasa de muestreo de la señal a la entrada del filtro pasa-bajos, con un factor de interpolación y diezmado de 64 y 63

respectivamente. Normalmente el modo de transmisión empleado por la mayoría de las operadoras de televisión digital es el modo 3 donde se emplea símbolos más largos para una mayor cantidad de portadoras. Al emplear el modo 3 se obtiene un tiempo de símbolo de 1008 μs para capturar 1024 muestras FFT, en el modo 1 y 2 se emplea símbolos de 252 μs y 504 μs respectivamente.

El bloque *Low Pass Filter* es un filtro pasa-bajos del tipo complejo que filtra las señales que se encuentran en fase y cuadratura, siendo posible configurar la frecuencia de corte en banda base a 250 KHz y la frecuencia de muestreo, dentro de los parámetros más importantes.

A la salida se encuentra el bloque *QT GUI Sink* que emplea una transformada rápida de Fourier (FFT) que permite ver el espectro de la señal y el bloque *File Sink* que recibe todas las muestras para almacenar la información en el disco duro del ordenador en un formato archivo.dat que podrá ser utilizado en las pruebas de recepción de la señal en el receptor de One-seg.

Algoritmo de recepción One-Seg

En esta sección se realiza una descripción general de los bloques de procesamiento utilizados para la recepción One-seg como se puede ver en la figura 41 desde el entorno de *GNU Radio Companion*, los mismos que fueron desarrollados en el trabajo de titulación para la Implementación de un receptor One Seg (Garzón, 2018). La recepción empieza desde el bloque *PlutoSDR Source* el mismo que sintoniza y muestrea la señal del equipo Adalm Pluto a cierta tasa permitida por el software como se indicó en el algoritmo desarrollado para el grabador de señal, ya que no todos los equipos pueden muestrear a cualquier tasa.

Para ajustar la frecuencia de muestreo del equipo se coloca el bloque *Rational Resampler* quien efectúa el proceso de interpolación y de diezrado en el que el cambio de la frecuencia de muestreo a la salida del bloque debe ser de 64/63 (Flores P. , 2016). La señal

ingresa al bloque *Low Pass Filter* que implementa un filtro pasa-bajos para filtrar el ruido y eliminar cualquier canal vecino que no corresponda a la frecuencia del canal establecido.

La etapa de sincronización OFDM está destinada a contrarrestar los efectos de sincronismo en tiempo y frecuencia en el sistema OFDM, como también es el encargado de realizar la demodulación ortogonal. La etapa de sincronización busca las muestras del inicio de cada símbolo y la estima para posteriormente corregir los desfasajes en la frecuencia de la portadora. Los bloques *Sync Dem Ofdm 1Seg* y *OFDM Dem 1seg* son los encargados de realizar este procedimiento.

El primero de ellos aplica un algoritmo de máxima verosimilitud de Van de Beek en una ventana $2N+L$ en el que N representa al número de muestras del símbolo por modo de operación (ejemplo: 1024 muestras en un modo de operación 3), mientras L representa a la longitud de muestras en tiempo para el intervalo de guarda (Garzón, 2018). Además, determina el SNR (Signal to Noise Ratio) correspondiente a una de las métricas objetivas para evaluar el desempeño y sus variaciones en la recepción y, tiene una salida de la señal de muestras complejas que se conecta a la entrada del bloque *OFDM Dem 1seg*.

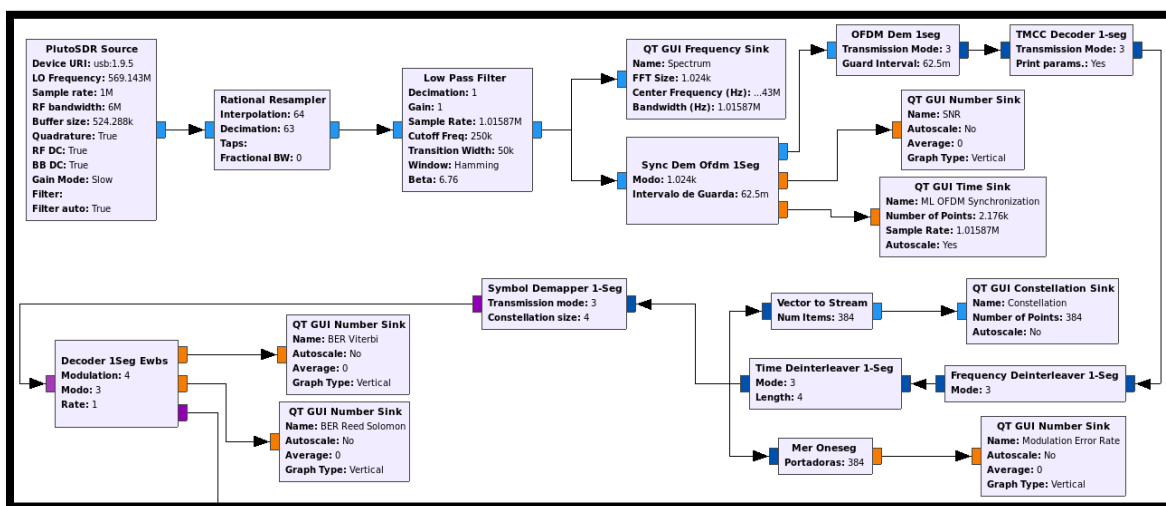
Este segundo bloque realiza el sincronismo en tiempo y frecuencia convirtiendo las señales que se encontraban en el dominio del tiempo a portadoras en frecuencia (ejemplo: el modo de operación 3 tiene 432 portadoras activas que son: auxiliares, TMCC, piloto y de datos), dicho bloque proviene del módulo *gr-isdbt*.

Posteriormente se encuentra el bloque más importante que es el *TMCC Decoder 1-seg*, debido a que permite extraer la información concerniente a la activación del bit 26 donde se encuentra el sistema de alerta de emergencia de la portadora TMCC que tiene 204 símbolos, a su entrada tiene todas las portadoras activas y a su salida solo las que corresponden a datos. Este bloque es propio del módulo *gr-isdbt*, pero se realiza ciertas configuraciones en su

programación para mostrar la configuración más detallada del sistema de transmisión lo cual se encuentra en la tabla 2 como, por ejemplo, el sistema de identificación (bit 20 y 21), el inicio de flag para la alarma de emergencia (bit 26), flag de recepción parcial (bit 27) y la información actual de los parámetros de transmisión para la capa jerárquica A, B y C (bit 28 al 66). Además, utiliza dos palabras de 16 bits de sincronismo la portadora según se trate de un cuadro par o impar.

Figura 41

Receptor One-Seg sin los bloques de procesamiento para la lectura de la emergencia



Luego se tiene los bloques *Frequency Deinterleaver 1-Seg* y *Time Deinterleaver 1-Seg* que emplea parámetros como el modo (1, 2 o 3) y la longitud, que están destinados a trabajar solamente con portadoras de datos y su función es posicionar a las portadoras. A la salida del mismo se tiene un bloque que permite enviar un flujo de datos de forma continua para observar la constelación de la señal y el bloque *MER Oneseg* que está destinado al cálculo y visualización del MER empleando modulación QPSK, que es otra de las métricas objetivas a ser visualizadas, además el bloque *Symbol Demapper* convierte la señal receptada a la salida del *Time Deinterleaver 1-Seg* en banda base a secuencia de bits y a la salida son enteros de igual longitud al tamaño de la portadora de datos.

Finalmente se tiene el *Decoder 1Seg Ewbs* donde se ejecuta los procesos de ISDB-Tb que se encuentran estandarizados en la norma como el desentrelazador de bit y de byte, el dispersor de energía, y las salidas a ser visualizadas Reed Solomon y el decodificador de Viterbi (Garzón, 2018).

La salida que representa el *Transport Stream* de 188 bytes será utilizada para procesar el algoritmo de emergencia.

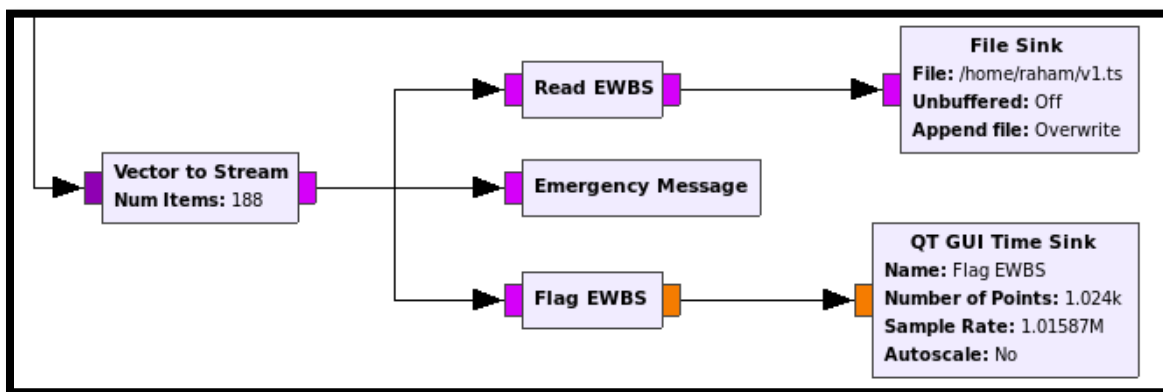
Algoritmo para la lectura de la información de emergencia

Una vez que se procesa la información para la recepción de One-seg se tiene a la salida tramas o paquetes de 188 bytes que son recibidos a la entrada de los bloques (Read EWBS, Emergency Message, Flag EWBS). Estos bloques de procesamiento están programados en lenguaje Python para el entorno de GNU Radio y son los encargados de extraer las características del sistema de alerta de emergencia EWBS. En la figura 42 se observa los bloques de procesamiento para EWBS.

A continuación, se explica la funcionalidad que tienen estos bloques para la recepción y extracción del sistema de emergencia.

Figura 42

Bloques generados para la lectura del mensaje de emergencia EWBS



Nota. Bloques de procesamiento para la extracción del sistema EWBS

Bloque Read EWBS

El bloque Read EWBS es el encargado de procesar el flujo de datos de 188 bytes (TS) a la salida del receptor para extraer la información detallada de la tabla PMT y el descriptor1 que contiene la emergencia.

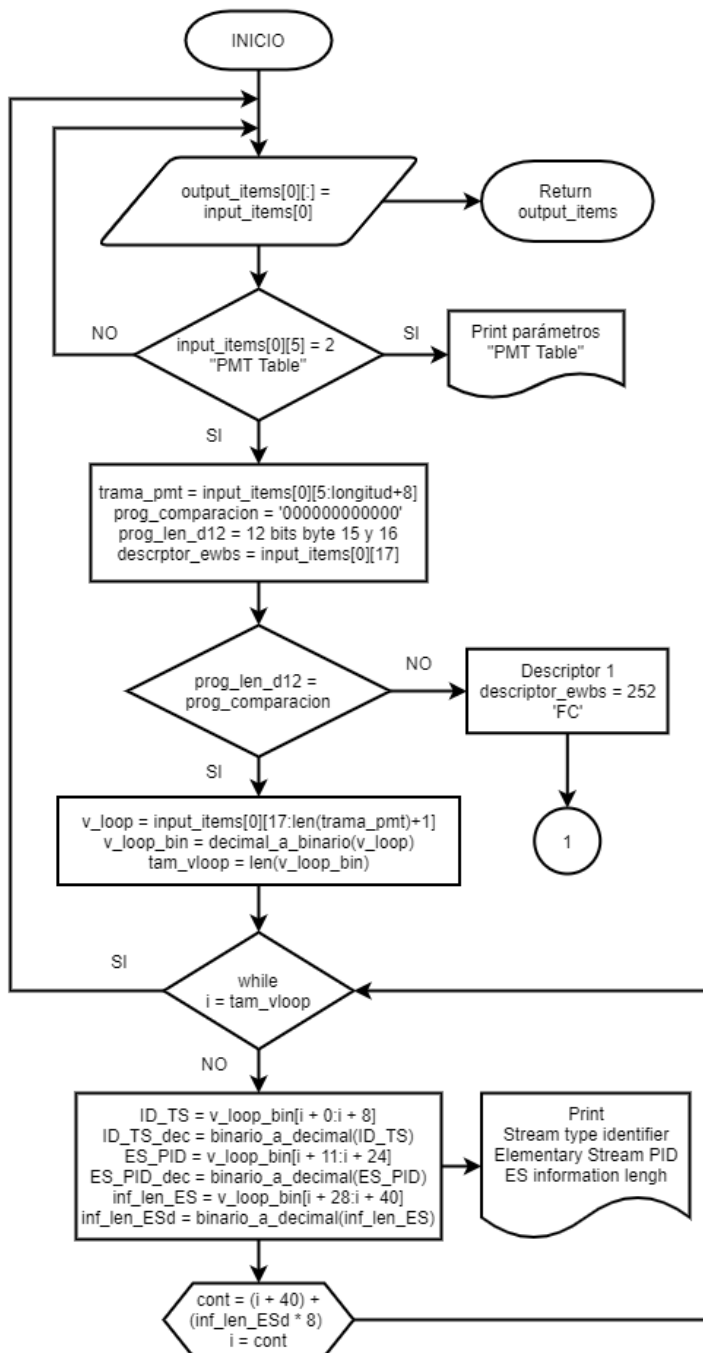
Para el desarrollo del software se emplea conceptos y tablas detalladas en el Capítulo II, los cuales permiten comprender la estructura de cada trama de 188 bytes. En la figura 43 se muestra el diagrama de flujo general que corresponde a la lectura de la tabla PMT, para ello se realiza el siguiente procedimiento.

1. Recibir los 188 bytes de forma continua y en tiempo real que representan la información de entrada como de salida del bloque.
2. Buscar dentro de cada paquete el identificador de la tabla PMT 0x02 o 2 en decimal.
3. Procesar byte a byte cada uno de los paquetes que corresponden a la tabla PMT e imprimir cada uno de sus parámetros.
4. Validar los 12 bits del Program information length, en el caso de que su valor sea '0' en binario continúa con la lectura del bucle de repetición que contiene el Stream type identifier, Elementary stream PID y ES information length, caso contrario ingresará al Descriptor 1 (descriptor EWBS '0xFC' o 252 en decimal), en el que se encuentra la información de la figura 12 del Capítulo II.
5. En la primera condición al comparar los 12 bits del Program information length con '000000000000' el bucle while procesa el resto de la información en bits hasta el byte anterior al CRC-32, para extraer las características del (Stream type identifier, Elementary stream PID y ES information length) en cada iteración, la misma que será representada en el terminal de GNU Radio. Si la condición del Program information length corresponde a un valor diferente de 0, dicho número representa

el tamaño en bytes de la información del programa del descriptor 1 que contiene la emergencia denotado como '0xFC'.

Figura 43

Diagrama de flujo general del bloque Read EWBS



Nota. Estructura del diagrama de flujo para la programación en Python del bloque Read EWBS

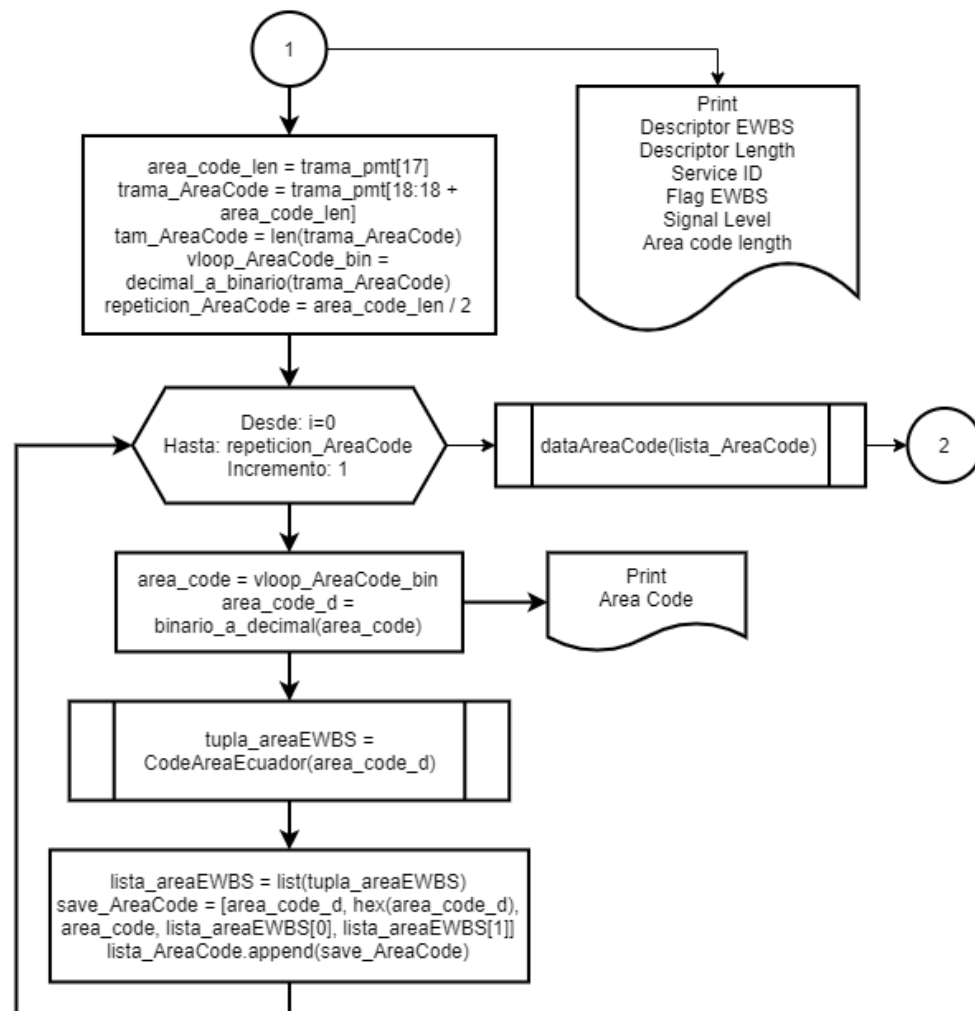
6. De acuerdo al tamaño del descriptor la estructura de datos de la información de emergencia será considerada para extraer y mostrar sus parámetros (Service ID, Flag EWBS, Signal Level y el area code o códigos de área). En la figura 44 se detalla el diagrama de flujo del descriptor 1 el mismo que separa la trama que posee los códigos de área con el propósito de que cada area code busque y almacene la provincia y cantón considerando la tabla 8 que se encuentra en el Capítulo II, donde se muestra un ejemplo de los códigos de área para la provincia de Pichincha. La lectura de los códigos de área se la realiza mediante la función *CodeAreaEcuador*, de acuerdo a su código de área en decimal (número) como se muestra su diagrama de flujo en el Anexo 1 apartado A.
7. Una vez almacenado todos los códigos de área en una lista se imprime los valores obtenidos en terminal y mediante la función *dataAreaCode* los códigos de área son listados en tiempo real en un *archivo.xlsx* que posee la información del código en decimal, hexadecimal, binario, provincia y cantón donde se detalla la emergencia contenida en el archivo TS (*Transport Stream*) como se muestra en el diagrama de flujo del Anexo 1 apartado B.
8. Luego de leer el descriptor de emergencia se procesa los siguientes bytes hasta antes del CRC-32 en los cuales se detalla el Stream type identifier, Elementary stream PID, ES information length y el descriptor de cada servicio. Los bytes restantes son analizados en una trama en bits. Siempre que el flujo de identificación *ES information length* sea (0x06) o 6 en decimal representa el identificador de tipo de servicio de un "Paquete PES" que lleva el mensaje de sobreimposición, sin embargo, dentro del descriptor de este servicio existe una etiqueta del componente para sobreimposición ES que puede ser de 0x38 o 0x88 como se observa en la tabla

9. Al tratarse de un receptor para One-seg el *component tag* será superimpose para ONE-SEG que es mostrado en el terminal como se muestra en el diagrama de flujo del Anexo 1 apartado C.

9. A la salida del bloque de procesamiento Read EWBS se envía el flujo de 188 bytes de forma continua que conecta al bloque *File Sink* que permite reproducir el *archivo.ts* en ffmpeg cargando el fichero previamente creado desde la terminal de Linux.

Figura 44

Diagrama de flujo del descriptor 1 (Descriptor de información de emergencia)



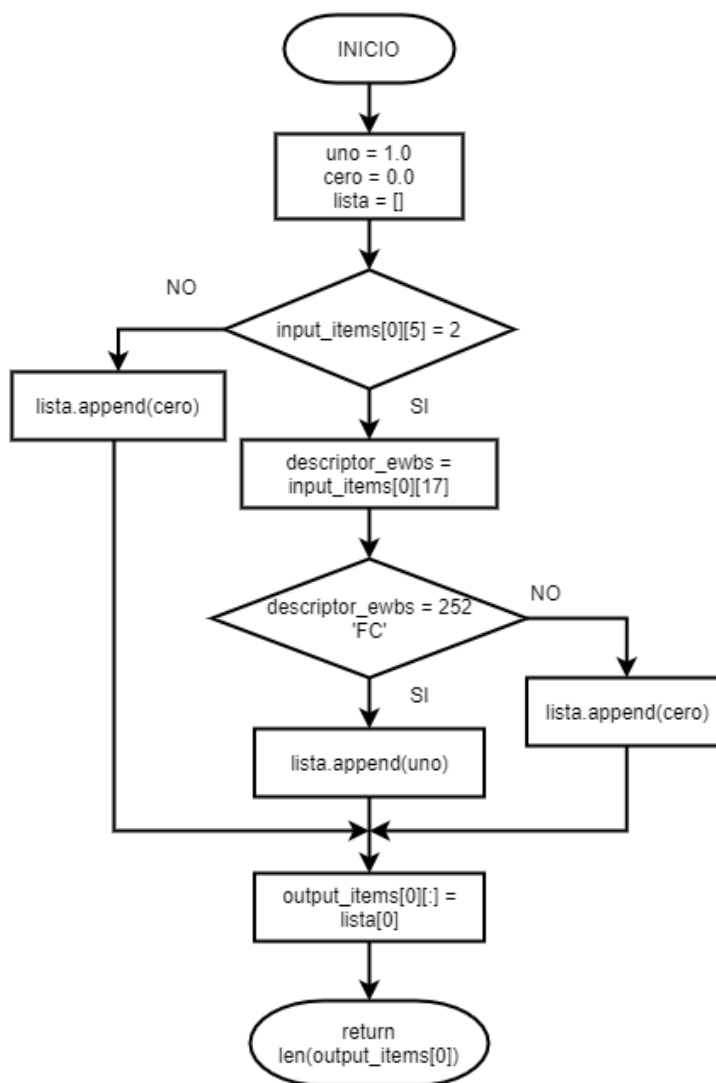
Nota. Estructura del diagrama de flujo para la programación en Python del descriptor de EWBS

Bloque Flag EWBS

El bloque Flag EWBS recibe el flujo de 188 bytes y es el encargado de mostrar la activación de la bandera de emergencia que se encuentra dentro de la misma tabla PMT específicamente en el descriptor de emergencia. En la figura 45 se observa el diagrama de flujo de este bloque que envía la información de la bandera de emergencia, para esto se efectúa los siguientes pasos.

Figura 45

Diagrama de flujo que envía la activación de la bandera de emergencia



Nota. Estructura del diagrama de flujo para la visualización de la activación del flag de EWBS

1. Se establecen dos variables: “uno” que representa la activación del bit de la bandera de EWBS y “cero” corresponde a la NO activación del bit de emergencia en conjunto con una variable que almacena los datos en una lista.
2. Posteriormente se valida la lectura de la tabla PMT, de no ser el caso almacena el valor de “cero” y guarda el dato que es enviado a la salida del bloque. Si corresponde a la tabla PMT lee el byte de la posición donde se sitúa el descriptor de EWBS, si la lectura corresponde al valor del descriptor de emergencia (252 del hexadecimal ‘0xFC) almacena el valor de “uno”, sino es el caso guarda el valor de “cero”.
3. A la salida del bloque se envía cada dato listado en un formato del tipo flotante, mismo que será receptado por el bloque *QT GUI Time Sink* que muestra el resultado de la bandera de emergencia.

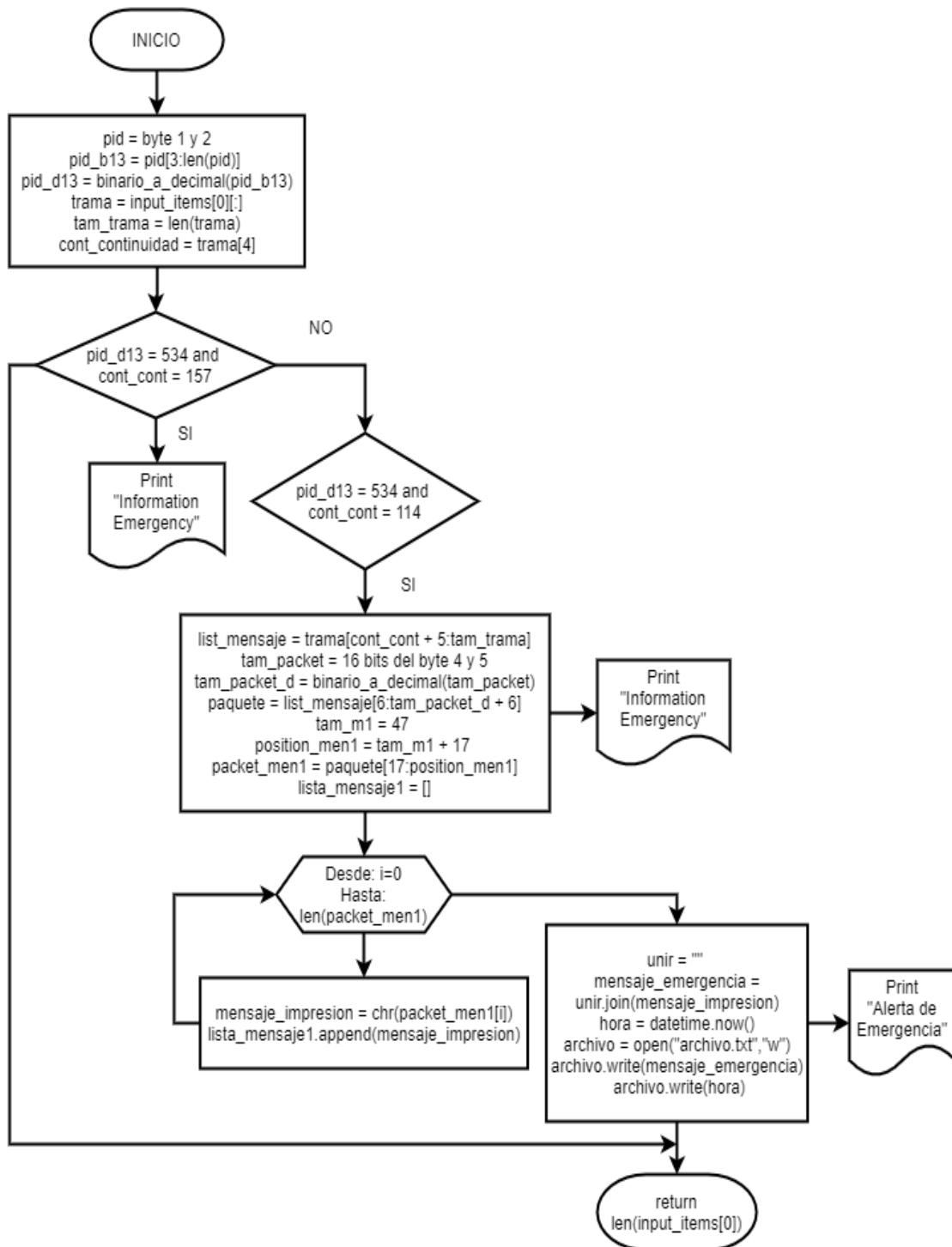
Bloque Emergency Message

Este bloque de procesamiento extrae el mensaje de superimposición que se encuentra en el PID 534 o (0x216) para One-seg correspondiente a un paquete vacío después de la primera PMT con EWBS. En este archivo TS el programa está modificado para la lectura del mensaje de alerta de emergencia de Ecuador “Tsunami Alerta de Emergencia-Ecuador”. El desarrollo para la modificación e inclusión del mensaje de superimposición se puede observar el trabajo, en el que se indica que existen tres paquetes fundamentales que permiten la emisión del mensaje de emergencia (paquete PMT, paquete de lenguaje para sobreimposición y el paquete del texto de sobreimposición) (Recalde, 2016).

En la figura 46 se observa el diagrama de flujo que muestra el proceso para la lectura del texto de sobreimposición que contiene el mensaje de emergencia.

Figura 46

Diagrama de flujo que lee el paquete del texto sobreimpresión



Nota. Estructura del diagrama de flujo para la lectura del mensaje de emergencia

1. Leer el flujo de datos de 188 bytes que se recibe a la entrada del bloque y extraer el PID de la cabecera de cada paquete en conjunto con el contador de continuidad.
2. Comparar si el PID y el contador de continuidad corresponden a los valores 534 y 157 respectivamente. Si es el caso imprime la información de emergencia que representa el paquete donde se encuentran parámetros del lenguaje de sobreimposición.
3. Si la condición anterior no se cumple compara el valor del PID con 534 y el contador de continuidad con el valor de 114 con la finalidad de leer el texto de sobreimposición. El mismo imprime la información de emergencia y procesa byte a byte el mensaje codificado en ASCII que es almacenado en una lista.
4. Luego el texto con el mensaje de sobreimposición que tiene la emergencia es impreso en tiempo real en el terminal de GNU Radio y en un *archivo.txt* en conjunto con la hora actualizada.

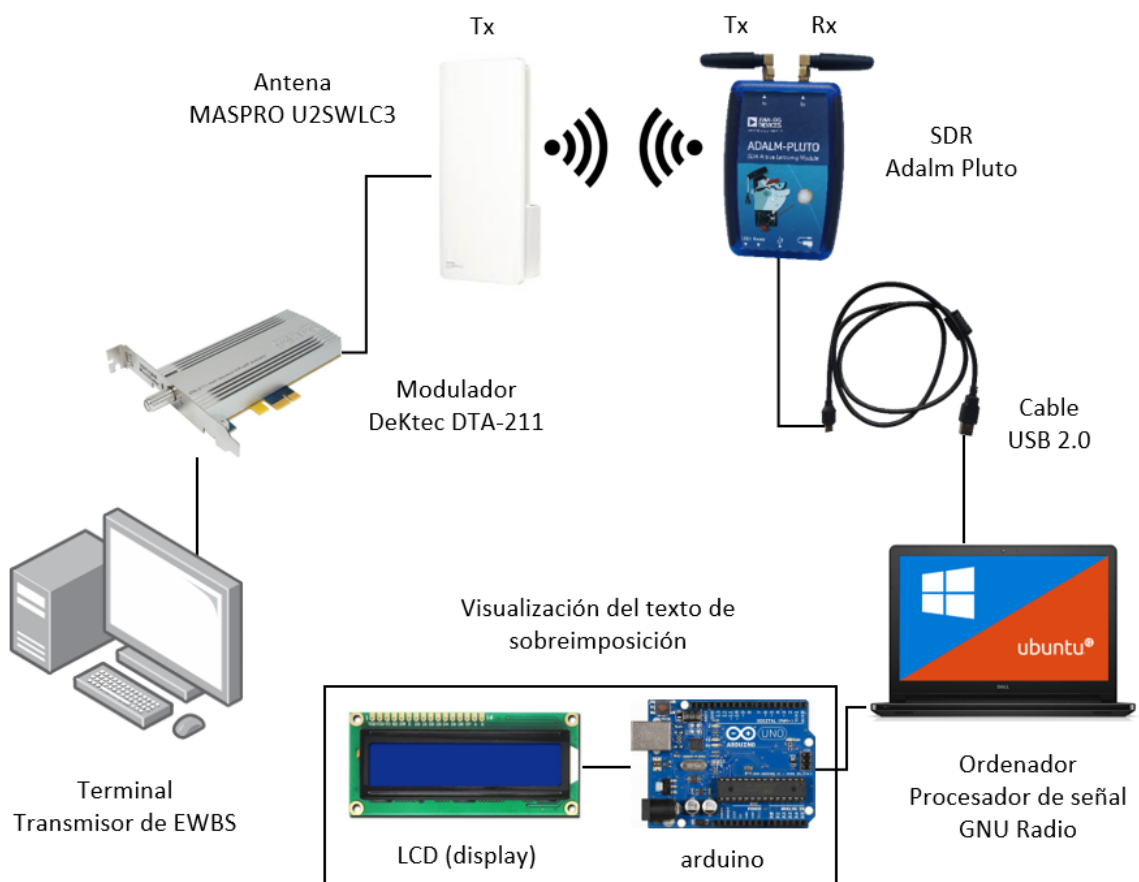
Escenario del sistema con la visualización del texto de sobreimposición

En esta sección se presenta el escenario del sistema con la inclusión de una placa arduino basado en un microcontrolador, el mismo que utiliza el entorno Arduino IDE para la creación del programa que realiza la comunicación serial entre el IDE de Arduino y Python (Pycharm) para visualizar el mensaje de emergencia (texto de sobreimposición) en un LCD (display) el cual estará conectado a los periféricos (pines digitales) del Arduino, como se muestra en la figura 47.

Esta lectura se la realiza mediante la comunicación serial entre Arduino y Python. El *archivo.py* se encarga de leer el *archivo.txt* donde se almacena el texto que contiene la emergencia y la hora en que se presenta el evento en tiempo real, el cual fue generado de la lectura del mensaje de emergencia mediante el bloque *Emergency Message* con GNU Radio.

Figura 47

Escenario del sistema que visualiza la emergencia (texto de superposición)



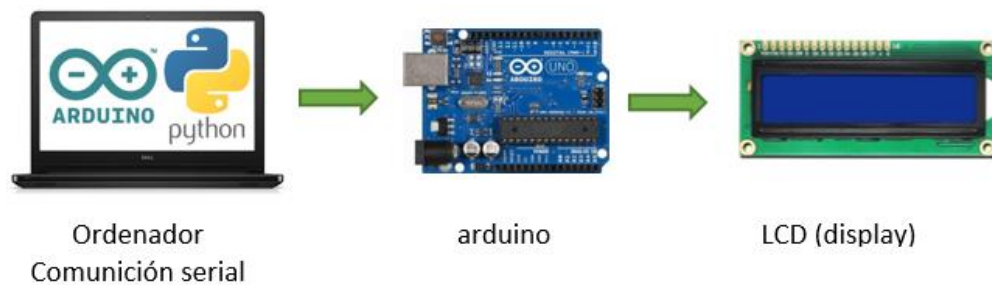
Nota. Representa el esquema de conexiones del escenario del sistema con la visualización del mensaje de emergencia

Este programa lee las líneas del archivo de texto y las separa con una coma para ser enviada por comunicación serial en formato ASCII como se observa en el diagrama de flujo del Anexo 1 apartado D. El *archivo.ino* se encarga de leer el mensaje codificado en ASCII mediante el puerto serie y separa ambas cadenas detectando la coma (,) insertada en el texto para mostrar el mensaje de emergencia en LCD mediante un barrido de su display en ambas filas.

La figura 48 muestra el esquema empleado para leer el texto y que sea visualizado en el display. Su diagrama de flujo se adjunta en el Anexo 1 apartado D.

Figura 48

Esquema para la lectura y visualización de la emergencia



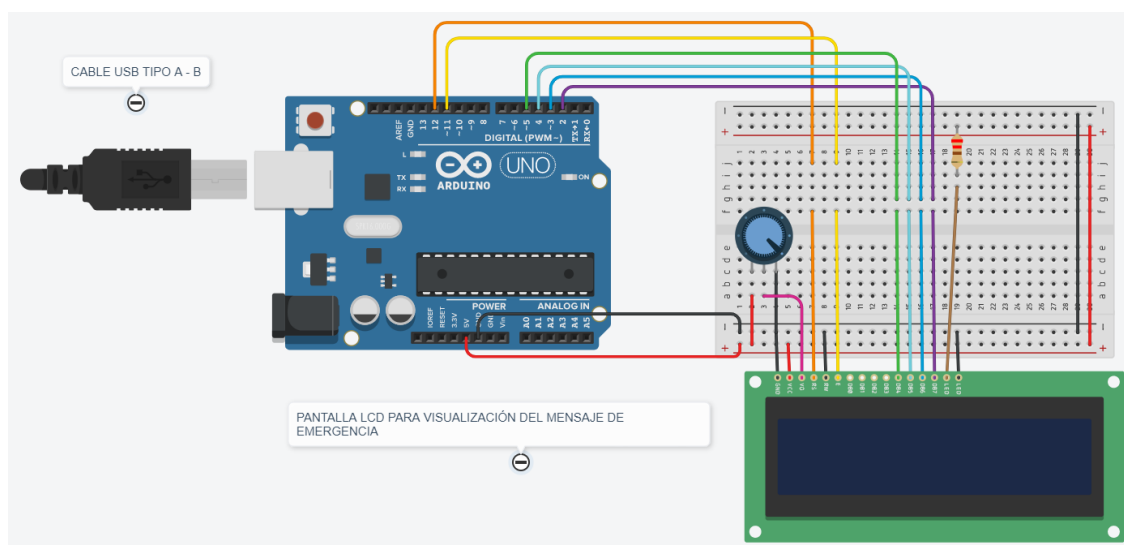
Nota. Proceso de lectura para la visualización de la emergencia con arduino y Python

Implementación del hardware para el visualizador de la emergencia

El sistema de visualización del mensaje de emergencia se basa en un microcontrolador (placa arduino UNO) y una pantalla LCD que muestra la lectura del texto de superposición. En la figura 49 se observa la representación física del visualizador de la emergencia desarrollada en tinkercad.

Figura 49

Representación física del visualizador de la emergencia en Tinkercad



Nota. La figura indica la representación física de las conexiones del visualizador de emergencia

Se realizó el diseño de las pistas en PCB Wizard para posteriormente crear una placa en la cual se montará el sistema para la visualización que se adjunta en el Anexo 5 apartado B. En la figura 50 se puede observar el producto final del montaje de la placa y la tarjeta arduino, además de la pantalla LCD desde su vista superior.

Figura 50

Montaje del visualizador de emergencia vista desde su parte interna y superior



Nota. La imagen muestra el visualizador del mensaje de emergencia

Funcionamiento del Proyecto

La implementación de este proyecto se basa en la figura 36 y figura 48 donde se puede ver los elementos que lo conforman. Cuando se ejecuta el algoritmo de procesamiento en GNU Radio el equipo SDR Adalm Pluto recepta la señal del terminal transmisor de EWBS que emplea el software StreamXpress y el modulador DeKtec para transmitir el TS con la información de emergencia, por tal motivo muestrea la señal a la frecuencia configurada y admitida por el equipo, luego se aplica el remuestreo y filtrado de la señal para eliminar el ruido y señales de canales vecinos que posteriormente en la etapa de sincronismo de OFDM se obtiene las portadoras de un segmento al emplear la FFT de la señal. El decodificador TMCC extrae la información del sistema de transmisión y la activación del bit 26 del sistema de alerta de emergencia. Se aplica la etapa de entrelazamiento en tiempo y frecuencia, el demapeo de

símbolos y el proceso de decodificación para extraer los 188 bytes que serán procesados para la lectura y recepción de la emergencia EWBS.

Se lee el flujo de datos de 188 bytes que se almacena en un *archivo.ts* y se extrae la información de la tabla PMT el descriptor de emergencia, donde se procesa el almacenamiento de los códigos de área, la lectura del descriptor de superimposición y la lectura del paquete del texto de sobreimposición que tiene el mensaje de emergencia.

Al correr el algoritmo se ejecutan los procesos para la visualización del espectro de la señal, Van de Beek, la constelación con modulación QPSK, las métricas objetivas SNR, MER, VER de Viterbi y BER de Reed Solomon, además de la activación de la bandera de emergencia, todo esto en el entorno de GNU Radio. Además, la información de importancia del TS es impresa en el terminal con la ejecución en paralelo de la reproducción del video previamente creando un archivo del tipo FIFO (*mkfifo archivo.ts*) y ejecutando por medio de línea de comando el *archivo.ts* con *ffmpeg*.

La extracción de características del sistema de emergencia como lo son los códigos de área son guardados en un *archivo.xlsx* y el texto de sobreimposición con el mensaje de emergencia se almacena en un documento de texto o *archivo.tx*.

Finalmente, el archivo de texto con el mensaje de emergencia es leído con un programa realizado en arduino y python para mostrar el mensaje por medio de un LCD (display) al entrar en ejecución su programa. El logo que simboliza la implementación del receptor de EWBS para One-Seg se muestra en el Anexo 5 apartado A.

Capítulo IV

Análisis de resultados

En este capítulo se describe el funcionamiento del receptor implementado con la extracción de la señal EWBS, por medio de la ejecución del algoritmo de procesamiento digital de señales desarrollado en GNU Radio para la lectura y visualización de la información de emergencia del transport stream. El sistema permite recibir la señal One-seg en un canal establecido para ISDB-Tb y será evaluado mediante las medidas objetivas.

Recepción de video y extracción de características del descriptor de la información de emergencia

Escenario 1

El escenario de prueba se realiza usando el equipo SDR Adalm-Pluto y todos los elementos que son necesarios para validar la recepción de la señal EWBS en el canal físico 30 a una frecuencia de 569.143 MHz bajo el estándar ISDB-Tb, mismo que puede ser modificado en función del canal utilizado para la transmisión. Dentro de los equipos que se muestran en la figura 51 hace referencia al diagrama de bloques del sistema general mediante una implementación en los laboratorios de Televisión Digital de la “Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE”.

En el Ecuador la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones establece la Canalización de las Bandas de Radiodifusión de TDT como se detalla en la tabla 13 para algunas frecuencias que se encuentran en operación.

Antes de ejecutar el algoritmo de recepción en GNU Radio se debe configurar previamente los parámetros en el Terminal Transmisor de EWBS en el software StreamXpress cargando el archivo de Transport Stream.

Figura 51

Escenario del sistema de recepción EWBS



Nota. La figura muestra la implementación del receptor One-seg bajo el estándar ISDB-Tb con el sistema EWBS

Tabla 13

Canalización de las Bandas de Radiodifusión para TDT

Marca	Cobertura	Canal Físico (UHF)	Frecuencia (MHz)
Ecuador TV	Quito, Sangolquí, Machachi	26	545.143
Gamavisión	Quito, Tumbaco, Cayambe, Sangolquí	30	569.143
Telemazonas	Quito	32	581.143
RTS	Quito, Tumbaco, Cayambe, Sangolquí	34	593.143
Ecuavisa	Quito, Tabacundo, Cayambe, Sangolquí	36	605.143
Canal Uno	Quito, Sangolquí	45	659.143

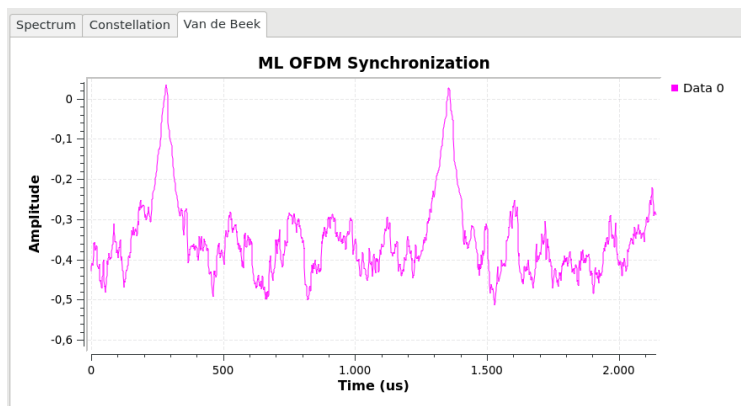
Nota. Frecuencias que se encuentran en operación de los principales canales del Ecuador que utilizan TDT. Adaptada de Canalización de las Bandas de Radiodifusión de TDT, de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2012

Al momento de poner en ejecución el programa e iniciar la transmisión, la interfaz de usuario en GNU Radio permite realizar un control para la sintonización de la señal de acuerdo a los parámetros en que se está transmitiendo, el modo de operación, la tasa de código y el intervalo de guarda. Usualmente el modo 3 es el empleado por las compañías de radiodifusión de TDT.

El código cuando recién es ejecutado se sintoniza a la frecuencia del canal 30, el cual fue definido como una variable en los bloques de procesamiento de GNU Radio y por medio del algoritmo de máxima verosimilitud permite observar los picos del inicio de la sincronización del símbolo OFDM bien definido como se muestra en la figura 52.

Figura 52

Picos que indican el inicio de la sincronización del símbolo OFDM

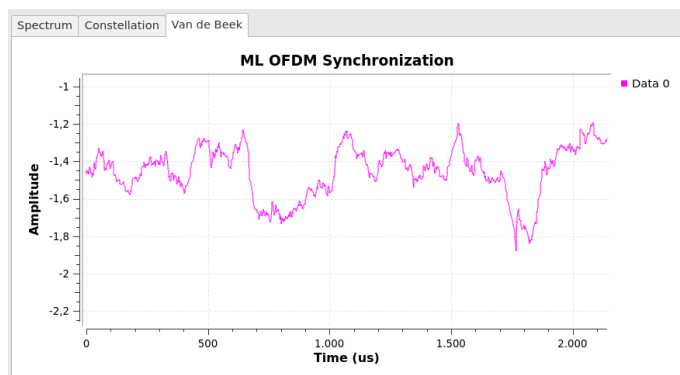


Nota. La gráfica presenta el inicio de los símbolos OFDM mediante el algoritmo de Máxima Verosimilitud

Mientras que si se realiza alguna modificación errónea del modo de operación o el prefijo cíclico se tiene una señal sin los picos de símbolos OFDM definidos y se introduce una señal con ruido. Se realizó la modificación del modo de operación al modo 1 y se obtiene el resultado mostrado en la figura 53, lo que ocasiona que la señal no pueda ser recuperada debido a que se encuentra deteriorada.

Figura 53

Señal ocasionada por la configuración errónea del modo de operación



Nota. La gráfica presenta la configuración errónea de uno de los parámetros de transmisión

Posteriormente a ello, el algoritmo revise la señal e imprime la estructura del TMCC (parámetros de transmisión de la Capa A, B y C, el sistema de identificación, el inicio de la bandera para la emergencia y la recepción parcial de la bandera) en el terminal de GNU Radio siempre que la señal no se encuentre deteriorada por el canal inalámbrico en la recepción.

Figura 54

Impresión de los parámetros del TMCC

```

-----
                          TMCC ANALYSIS
-----
Layer                      : A
Carrier Modulation Scheme   : QPSK
Convolutional Code Rate    : 2/3
Time Interleaving Length   : 16(mode 1), 8(mode 2), 4(mode 3)
Number of segments for this layer : 1
-----
Layer                      : B
Carrier Modulation Scheme   : 64QAM
Convolutional Code Rate    : 3/4
Time Interleaving Length   : 4(mode 1), 2(mode 2), 1(mode 3)
Number of segments for this layer : 12
-----
Layer                      : C
Carrier Modulation Scheme   : UNUSED
Convolutional Code Rate    : UNUSED
Time Interleaving Length   : UNUSED
Number of segments for this layer : UNUSED
-----
-----System Identification (bit 20-21)-----
System Identification       : Digital terrestrial television broadcasting
-----
-----Bandera emergencia EWBS (bit 26)-----
Start flag for emergency-alarm broadcasting :Startup control available (When an emergency-alarm signal is transmitted)
-----
-----Recepcion parcial de la bandera (bit 27)-----
Partial-Reception Flag     :Partial reception available
-----
TMCC OK

```

Nota. La gráfica presenta la información del TMCC

Lo importante del análisis del TMCC es la activación del bit 26 el cual indica que la emergencia se encuentra habilitada, es decir “la señal de alarma de emergencia está siendo transmitida” como se muestra en la figura 54.

A continuación, se muestra en detalle cierta información del TS contenida en la “tabla PMT”, para ello el algoritmo de procesamiento analiza los 188 bytes a la salida del *decodificador de EWBS* y captura la información de la estructura de la tabla PMT. En la figura 55 se puede observar la impresión de los parámetros de la tabla PMT en detalle, mostrando la información del programa contenido en el PID 8136. Además de los servicios que contiene dicha programación, considerando que el receptor no ha recibido ninguna emergencia.

Figura 55

Impresión de la estructura de la tabla PMT del TS recibido

```

-----
ES UNA PMT !!!
PID: 8136 y en hex: 0x1fc8
Section length: 33 y en hex: 0x21
Section syntax error: 1 entonces True
CRC-32: [113 30 140 171]
Program number: 2648 y en hex: 0xa58
Version Number: 5 y en hex: 0x5
Current next indicator: 1 entonces True
PCR_PID: 528 y en hex: 0x210
Program information length: 0 y en hex: 0x0
-----
----- Information 1 -----
Stream Type identifier: 27 en hex: 0x1b : Video conforme ITU Recommendation H.264 e ISO/IEC 14496-10
Elementary Stream PID: 529 en hex 0x211
ES information length: 3 en hex: 0x3
-----
----- Information 2 -----
Stream Type identifier: 17 en hex: 0x11 : Audio conforme ISO/IEC 14496-3
Elementary Stream PID: 530 en hex 0x212
ES information length: 7 en hex: 0x7
-----
Stream type identifier: [27, 17]
Elementary Stream PID: [529, 530]
ES information length: [3, 7]

```

Nota. La imagen muestra la información de la tabla PMT del TS

A diferencia de la información impresa en la terminal de la figura 55, se puede observar en la figura 56 la estructura de la tabla PMT, pero con la existencia de la emergencia en el descriptor de EWBS ('FC') en el que presenta el tipo de stream (0x06) equivalente a un “Paquetes PES” que posee el descriptor del texto de superposición.

En el descriptor de SUPERIMPOSE muestra que la etiqueta del componente con el valor de (0x88) corresponde a la Sobreimposición para One-seg. En el código QR que se encuentra en la parte inferior (figura 56) hace referencia al proceso de ejecución de la sincronización OFDM, del TMCC e información de la estructura de la tabla PMT.

Figura 56

Impresión de la información de la tabla PMT del TS recibido con el descriptor de superimposición y el código QR de la ejecución del algoritmo (MV OFDM, TMCC y Tabla PMT)

```

----- Information 1 -----
Stream Type identifier: 27 en hex: 0x1b : Video conforme ITU Recommendation H.264 e ISO/IEC 14496-10
Elementary Stream PID: 529 en hex 0x211
ES information length: 3 en hex: 0x3
-----
----- Information 2 -----
Stream Type identifier: 6 en hex: 0x6 : Paquetes PES
Elementary Stream PID: 534 en hex 0x216
ES information length: 8 en hex: 0x8
*****
* ----- Descriptor de Superimposicion para ONE SEG ----- *
* Descriptor identification: 82 en hex 0x52 *
* Descriptor length: 1 en hex 0x1 *
* Component SUPERIMPOSE ONE-SEG: 136 en hex 0x88 *
* Descriptor component data: 253 en hex 0xfd *
* Descriptor length data component: 3 en hex 0x3 *
* Data coding method id: 8 en hex 0x8 *
* Additional identifier info: 60 en hex 0x3c *
*****
----- Information 3 -----
Stream Type identifier: 17 en hex: 0x11 : Audio conforme ISO/IEC 14496-3
Elementary Stream PID: 530 en hex 0x212
ES information length: 7 en hex: 0x7
-----
Stream type identifier: [27, 6, 17]
Elementary Stream PID: [529, 534, 530]
ES information length: [3, 8, 7]

```



Nota. La imagen muestra la información de la tabla PMT del TS con la lectura del descriptor de superimposición y el código QR de la ejecución del algoritmo (MV OFDM, TMCC y Tabla PMT)

Posterior a ello, el algoritmo se encuentra ejecutándose en tiempo real imprimiendo en paralelo el descriptor de la información de emergencia y una vez detectado aparte de la información brindada anteriormente, muestra el “Descriptor EWBS” y lista los códigos de área en los cuales se realiza la alerta de la emergencia de las zonas afectadas como se observa en la figura 57.

Figura 57

Descriptor de la información de emergencia y lista de los códigos de área

```

----- Descriptor EWBS -----
Descriptor EWBS: 252 y en hex: 0xfc
Descriptor length: 54 y en hex 0x36
Service ID: 2648 y en hex: 0xa58
Bandera EWBS: 1 entonces True
Signal Level: 0 entonces False
Area code length: 50 y en hex 0x32
Area Code: 30 y en hex: 0x1e
Area Code: 108 y en hex: 0x6c
Area Code: 145 y en hex: 0x91
Area Code: 146 y en hex: 0x92
Area Code: 158 y en hex: 0x9e
Area Code: 168 y en hex: 0xa8
Area Code: 172 y en hex: 0xac
Area Code: 183 y en hex: 0xb7
Area Code: 91 y en hex: 0x5b
Area Code: 97 y en hex: 0x61
Area Code: 137 y en hex: 0x89
Area Code: 159 y en hex: 0x9f
Area Code: 173 y en hex: 0xad
Area Code: 198 y en hex: 0xc6
Area Code: 202 y en hex: 0xca
Area Code: 8 y en hex: 0x8
Area Code: 27 y en hex: 0x1b
Area Code: 55 y en hex: 0x37
Area Code: 164 y en hex: 0xa4
Area Code: 211 y en hex: 0xd3
Area Code: 5 y en hex: 0x5
Area Code: 18 y en hex: 0x12
Area Code: 33 y en hex: 0x21
Area Code: 113 y en hex: 0x71
Area Code: 141 y en hex: 0x8d

```

Nota. Muestra los códigos de área del archivo TS donde se presenta la emergencia

Una vez detectado los códigos de área, el programa exporta la información a un archivo de Excel (ewbs_area1.xlsx) y codifica los datos de tal manera que pueda mostrar la Provincia y Cantón donde se detecta la emergencia en conjunto con los valores en (Decimal, Hexadecimal y

Binario) acorde a ISDB-T HARMONIZATION DOCUMENT Part 3: Emergency Warning Broadcast System EWBS. En la figura 58 se indica los códigos de área, los mismos que pueden ser utilizados para ser enviados a través de un Gateway.

Figura 58

Lista de Códigos de Área almacenados en un archivo de Excel

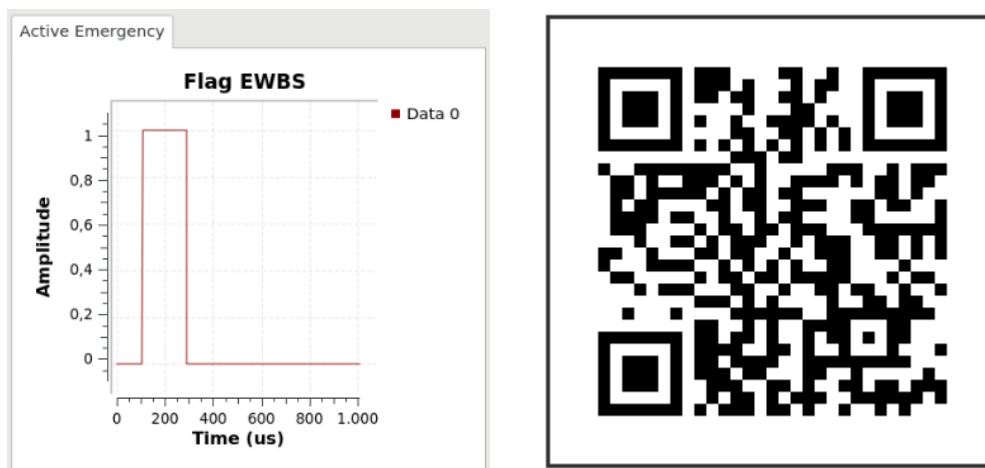
	A	B	C	D	E	F	G
1	Decimal	Hexadecimal	Binario	Provincia	Canton		
2		30 0x1e	000000011110	PICHINCHA	CAYAMBE		
3		108 0x6c	000001101100	PICHINCHA	MEJIA		
4		145 0x91	000010010001	PICHINCHA	PEDRO MONCAYO		
5		146 0x92	000010010010	PICHINCHA	PEDRO VICENTE MALDONADO		
6		158 0x9e	000010011110	PICHINCHA	PUERTO QUITO		
7		168 0xa8	000010101000	PICHINCHA	QUITO		
8		172 0xac	000010101100	PICHINCHA	RUMINAHUI		
9		183 0xb7	000010110111	PICHINCHA	SAN MIGUEL DE LOS BANCOS		
10		91 0x5b	000001011011	COTOPAXI	LATA CUNGA		
11		97 0x61	000001100001	COTOPAXI	LATA CUNGA		
12		137 0x89	000010001001	COTOPAXI	PANGUA		
13		159 0x9f	000010011111	COTOPAXI	PUJILI		
14		173 0xad	000010101101	COTOPAXI	SALCEDO		
15		198 0xc6	000011000110	COTOPAXI	SAQUISILI		
16		202 0xca	000011001010	COTOPAXI	SIGCHOS		
17		8 0x8	000000001000	NAPO	ARCHIDONA		
18		27 0x1b	000000011011	NAPO	CARLOS JULIO AROSEMENA		
19		55 0x37	000000110111	NAPO	EL CHACO		
20		164 0xa4	000010100100	NAPO	QUIJOS		
21		211 0xd3	000011010011	NAPO	TENA		
22		5 0x5	000000000101	TUNGURAGUA	AMBATO		
23		18 0x12	000000010010	TUNGURAGUA	BANOS DE AGUA SANTA		
24		33 0x21	000000100001	TUNGURAGUA	CEVALLOS		
25		113 0x71	000001110001	TUNGURAGUA	MOCHA		
26		141 0x8d	000010001101	TUNGURAGUA	PATATE		
27							

Nota. Almacenamiento de los códigos de área en un archivo de Excel del TS recibido

Cada instante en el que la emergencia está siendo transmitida, se puede observar en la interfaz de control de la figura 59 la activación del “Flag EWBS” cambiando de ‘0’ a ‘1’ mostrando la habilitación de la emergencia. Adicionalmente se encuentra el código QR donde se muestra la extracción de los códigos de área y la activación de la bandera de EWBS.

Figura 59

Activación del Flag EWBS y código QR de la extracción de los códigos de área y el Flag EWBS



Nota. Visualización del bit de emergencia extraído del descriptor de EWBS

Para la lectura del archivo .ts y la reproducción del video en línea se utiliza el software externo *ffmpeg*. Para ello primeramente se crea un archivo del tipo FIFO con extensión .ts el cual enlaza la ubicación del archivo por medio del bloque *File Sink* en GNU Radio que se encuentra a la salida del bloque *Read EWBS*. Luego los paquetes de 188 bytes del TS son enviados en tiempo real una vez iniciado la reproducción del algoritmo de DSP. En la figura 60, se observa la creación del archivo FIFO.

Figura 60

Creación del archivo FIFO y reproducción del video en *ffmpeg*

```

raham@raham: ~
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Pestañas Ayuda
raham@raham: ~
raham@raham: ~$ mkfifo tesis_EWBS.ts
raham@raham: ~$ ffplay tesis_EWBS.ts
ffplay version 4.3.2-0york0-18.04 Copyright (c) 2003-2021 the FFmpeg developers
built with gcc 7 (Ubuntu 7.5.0-3ubuntu1~18.04)

```

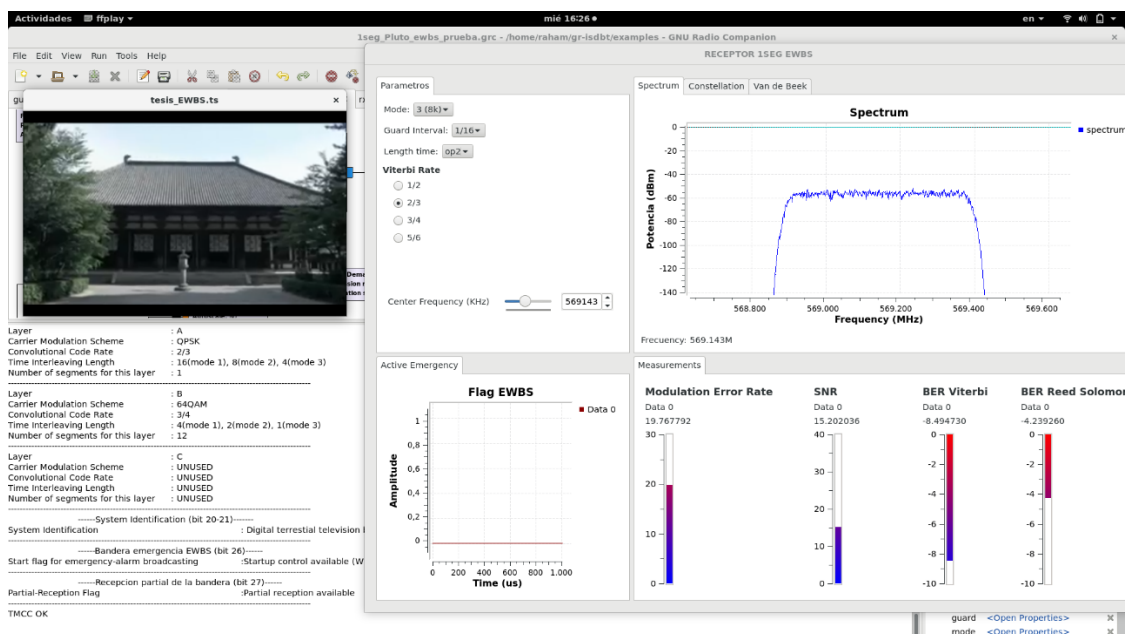
Nota. La gráfica muestra la creación y ejecución del archivo FIFO con *ffmpeg*

En la figura 61, se observa la reproducción del video en la resolución de One-seg en el canal físico 30 que está siendo transmitida, además del espectro de la señal, las medidas objetivas, la interfaz de control y el panel para la activación del bit de emergencia.

Para entender sobre la estructura y explicación del algoritmo se añade el código QR donde se describe el algoritmo de procesamiento en GNU Radio y la ejecución del receptor con el escenario implementado en los laboratorios de Televisión Digital.

Figura 61

Reproducción del video y recepción de la señal de One-Seg con el código QR



Nota. Explicación de la recepción de One-Seg con el sistema EWBS y pruebas de laboratorio

El tiempo de procesamiento una vez ejecutado el algoritmo en GNU Radio se encuentra por debajo de 1 segundo, es decir, en el orden de los microsegundos. La información del TS recibido comienza a imprimir la información en pantalla y después de aproximadamente 15 segundos es detectada la emergencia, misma que es impresa, almacena y visualizada en archivos de texto.

Recepción del mensaje de emergencia y visualización en una LCD

Escenario 2

El escenario que se presenta en la figura 62 es propuesto para realizar la visualización del mensaje de emergencia. La prueba consiste en transmitir el TS a partir del software StreamXpress y extraer el mensaje contenido en el PID 534 que posee el texto de superposición para determinar que la emergencia está siendo recibida.

Una vez ejecutado el algoritmo de DSP el receptor comienza a procesar e imprime los parámetros mostrados en el Escenario 1. En primera instancia se recibe un TS que tiene el mensaje de emergencia de Perú con el cual se realizó pruebas de EWBS utilizando los equipos de Japón con el siguiente mensaje (“Tsunami Warning!! in Nationwide Peru”).

Figura 62

Escenario del sistema de recepción y visualización de la emergencia



Nota. La figura muestra la implementación del receptor One-seg bajo el estándar ISDB-Tb con el sistema EWBS y la visualización del texto de superposición

Después de activarse la emergencia el algoritmo lee el PID del texto que tiene la información y es impreso en el terminal de GNU Radio en conjunto con la hora y la fecha actual como se observa en la figura 63 y figura 65, en paralelo el texto es almacenado en el archivo de texto (Alerta_Emergencia.txt) como se muestra en la figura 64 y figura 66.

Figura 63

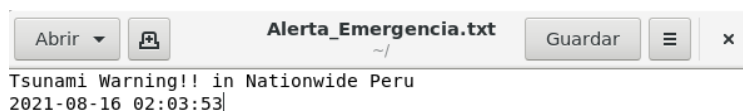
Mensaje de Emergencia (texto de superposición) con el mensaje de Perú

```
*****
-----Alerta de Emergencia-----
Tsunami Warning!! in Nationwide Peru
2021-08-16 02:03:53
*****
```

Nota. La figura muestra el mensaje codificado en los paquetes del TS con el mensaje de Perú

Figura 64

Mensaje de emergencia almacenado en el archivo de texto con el mensaje de Perú



The image shows a text editor window titled "Alerta_Emergencia.txt". The window has a menu bar with "Abrir", "Guardar", and a close button. The text content of the file is:

```
Tsunami Warning!! in Nationwide Peru
2021-08-16 02:03:53
```

Nota. La figura presenta el mensaje de emergencia con la hora y fecha actual (Perú)

A continuación, se muestra el mensaje de emergencia de Ecuador previamente realizando modificaciones del TS donde se encuentra el texto de superposición con el siguiente mensaje "Tsunami Alerta de emergencia-Ecuador".

Figura 65

Mensaje de Emergencia (texto de superposición) con el mensaje de Ecuador

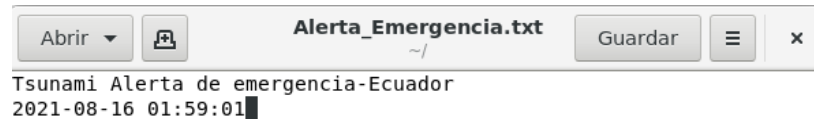
```
*****
-----Alerta de Emergencia-----
Tsunami Alerta de emergencia-Ecuador
2021-08-16 01:59:01
*****
```

Nota. La figura muestra el mensaje codificado en los paquetes del TS con el mensaje de Ecuador

Para comprender la extracción del mensaje de emergencia y el almacenamiento del mismo en un archivo de texto se provee el código QR en la parte inferior de la figura 66.

Figura 66

Mensaje de emergencia almacenado en el archivo de texto con el mensaje de Ecuador y código QR de la extracción del mensaje



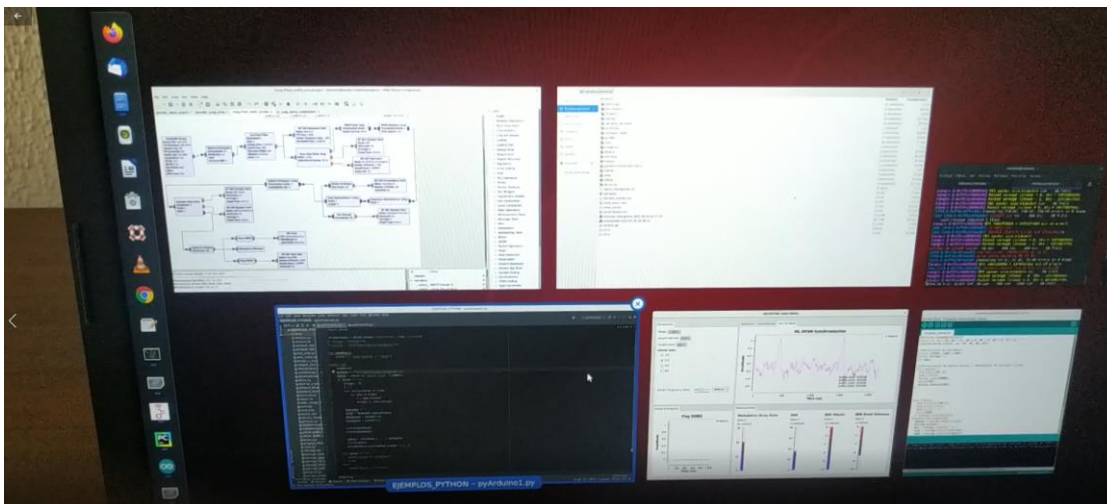
Nota. La figura presenta el mensaje de emergencia con la hora y fecha actual (Ecuador) y el código QR del proceso provisto para la extracción de la emergencia

Para la visualización de la emergencia es necesario que el código desarrollado en Python y en el IDE de Arduino estén asociados al mismo puerto serial. Previamente se carga el programa al arduino UNO y se pone en ejecución el código de Python para que envíe la lectura del archivo de texto al Arduino por comunicación serial e inicie la visualización en el LCD.

En la figura 67 se puede acceder al código QR de la visualización del video del funcionamiento completo del proyecto. En el mismo se puede visualizar el escenario completo con la transmisión en tiempo real, la transmisión del TS con la señal EWBS, junto al algoritmo de procesamiento y la visualización del mensaje de alerta de emergencia.

Figura 67

Visualización del mensaje de emergencia y código QR de la recepción en tiempo real



Nota. La figura muestra la pantalla de la ejecución del algoritmo y visualización de la emergencia

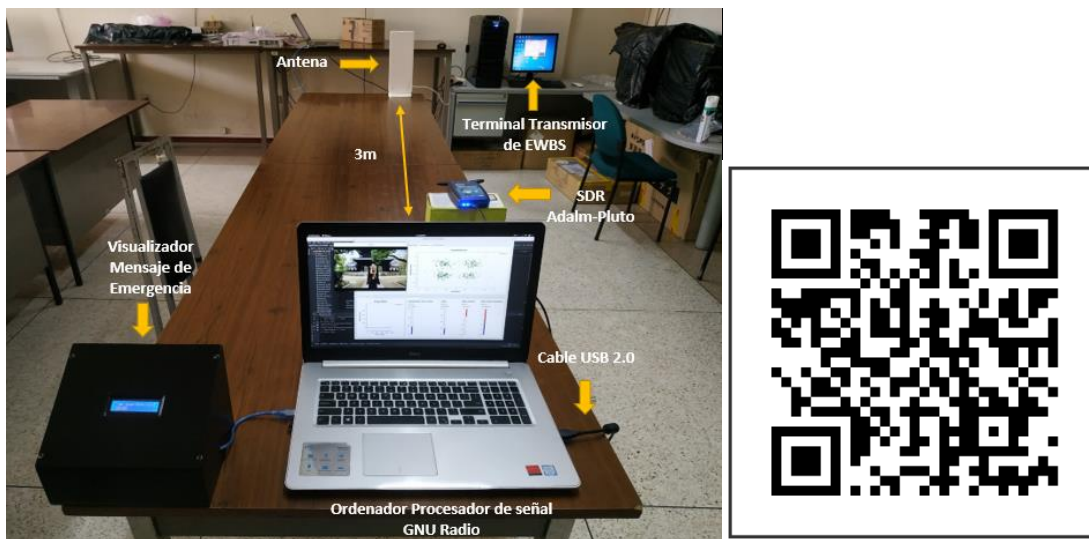
Escenario 3

En este escenario se posiciona el receptor a una distancia aproximada de 3m para verificar el alcance del dispositivo de recepción Adalm-Pluto. Es importante mencionar que debe existir una línea de vista entre la antena de transmisión y el SDR, además que el Adalm-Pluto debe estar a la altura del centro de radiación de la antena para su mayor eficiencia en la recepción. El software StreamXpress fue configura a una potencia de transmisión de -20 dB y el

sistema de recepción a su máxima ganancia de 72dB. En la figura 68 se muestra el escenario planteado y el código QR de la ejecución del proceso.

Figura 68

Ejecución del algoritmo de recepción en línea a 3m de distancia



Nota. La figura muestra el esquema de recepción a una distancia de 3m y su código QR de la ejecución del sistema

Análisis de la señal de recepción

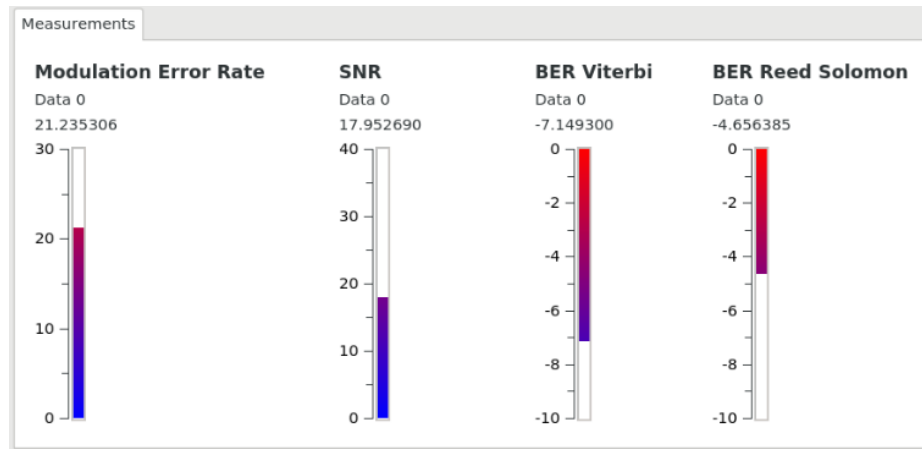
El sistema de recepción es evaluado en función de las medidas de calidad tomadas en un segmento de la señal como son el MER, SNR, BER de Viterbi y VER de Reed Solomon. Las medidas que fueron tomadas varían en un rango de la potencia de recepción (P_x) que permite el equipo Adalm-Pluto sin el deterioro de la señal. Se realiza una variación en el parámetro de la ganancia cada 5 dB en un rango soportado por el equipo.

El intervalo de la P_x en que se realiza el análisis va desde -95 a -60 dBm. Es importante mencionar que la norma ABNT NBR 15604:2007 recomienda que el nivel mínimo de la señal de la antena sea de -77 dBm y como máximo un nivel de señal igual o superior a -20 dBm. Para fines de análisis se evaluará el sistema en el rango previamente mencionado.

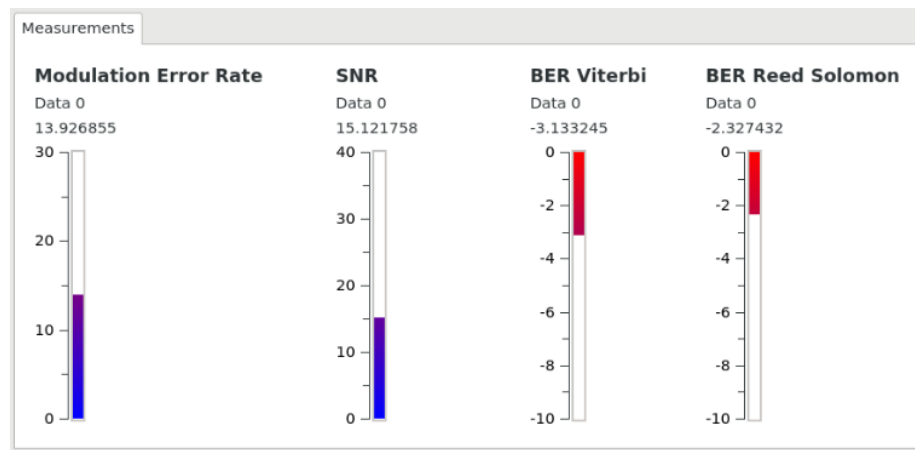
En la figura 69 se observa los resultados de la ejecución del algoritmo para una potencia de recepción de -60 dBm y -90 dBm.

Figura 69

Resultados de las medidas objetivas para una P_x de -60 dBm y -90 dBm



a) Medidas objetivas para una P_x de -60 dBm



b) Medidas objetivas para una P_x de -90 dBm

Nota. Las figuras muestran los resultados obtenidos en base a dos escenarios, para una potencia de -60 dBm y de -90 dBm

A continuación, en la tabla 14 se presenta un cuadro de resumen de las pruebas realizadas para analizar la calidad de la recepción de la señal.

Tabla 14

Resumen de las medidas objetivas en el rango de -60 dBm a -95 dBm

Potencia (dBm)	Medidas objetivas							
	-60	-65	-70	-75	-80	-85	-90	-95
MER (dB)	21.23	20.26	20.19	18.38	15.94	15.16	13.92	12.47
SNR (dB)	17.95	17.82	17.23	16.96	16.79	16.72	15.12	13.12
BER Viterbi	-7.14	-6.23	-5.74	-4.86	-3.69	-3.45	-3.13	-2.73
BER Reed Solomon	-4.65	-4.12	-3.69	-2.98	-2.64	-2.34	-2.32	-1.56

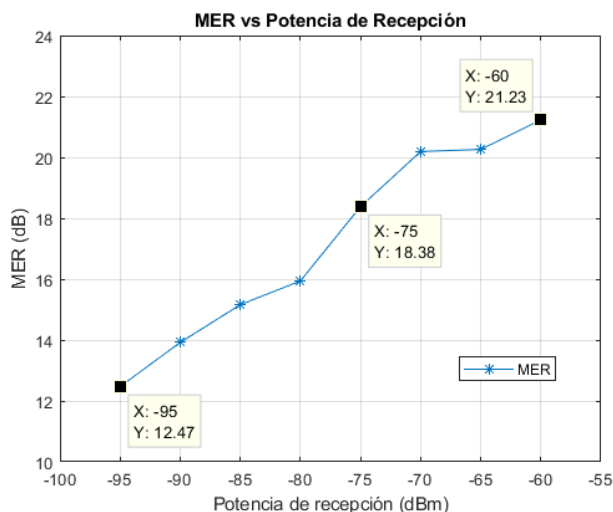
Nota. La tabla muestra un resumen de las medidas objetivas obtenidas en las pruebas realizadas

Análisis del MER

En la figura 70, se muestra la variación para cada uno de los niveles de potencia especificados en la tabla 14. Existen límites en los parámetros del MER para mantener una buena calidad en la recepción, como referencia para los sistemas ISDB-Tb un valor de 25 a 30 dB o superiores a 30 dBm es considerado que la recepción es de muy buena calidad.

Figura 70

Valores de MER en dB obtenidos para el sistema propuesto



Nota. La figura muestra los valores del MER para niveles de potencia entre -95 a -60 dBm

Sin embargo, el valor del MER depende de ciertos factores y características del sistema, como por ejemplo la potencia de transmisión y el tamaño de la constelación (Larroca, Flores, Gómez, González, & Belzarena, 2016). Las mediciones fueron realizadas en la recepción de un segmento o de servicio en la Capa A (One-seg).

Para este rango de potencia de recepción la señal fue recibida con éxito con alguna variación en la resolución del video y audio a medida que la potencia aumenta y el MER también. Se clasifica para un MER entre 25 a 30 dB o superior de muy buena calidad, entre 25 a 20 dB corresponde a una calidad buena, la señal es regular si los valores medidos son entre 20 a 15 dB y mala si el valor es inferior a 15 dB en base a un Análisis Técnico realizado de TDT en Guayaquil en diferentes estaciones televisoras (Flores, Benavides, Martínez, & Cherrez, 2019).

El resultado obtenido es bastante interesante en los niveles de potencia de -70 a -60 dBm en lo que la norma ABNT NBR 15604:2007 establece los niveles de potencia de recepción óptimos para ISDB-Tb, considerando que la señal fue de buena calidad con un MER superior a 20 dBm y en -75 dBm de una calidad regular en la recepción.

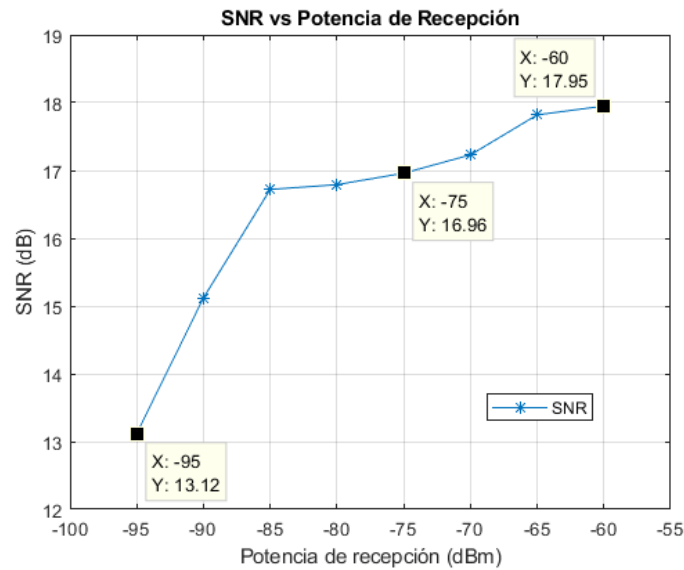
Para los niveles de potencia de -85 y -80 dBm presenta una calidad regular debido a que supera el valor de 15 dB y para los niveles de -95 y -90 dBm la calidad en la recepción es mala. La normativa ETSI, indica que para valores mínimos experimentales del MER de la señal para One-seg deben ser cercanos a 13 dB (Olmedo & Garzón, Partial ISDB-Tb receiver implemented on a software defined radio platform, 2018) y dicho valor se obtiene con el nivel de potencia más bajo de -95 dBm con un MER de -12.47.

Análisis del SNR

Los resultados de la relación señal a ruido se pueden observar en la figura 71.

Figura 71

Valores de SNR en dB obtenidos para el sistema propuesto



Nota. La figura muestra los valores del SNR para los niveles de potencia comprendidos entre -95 a -60 dBm

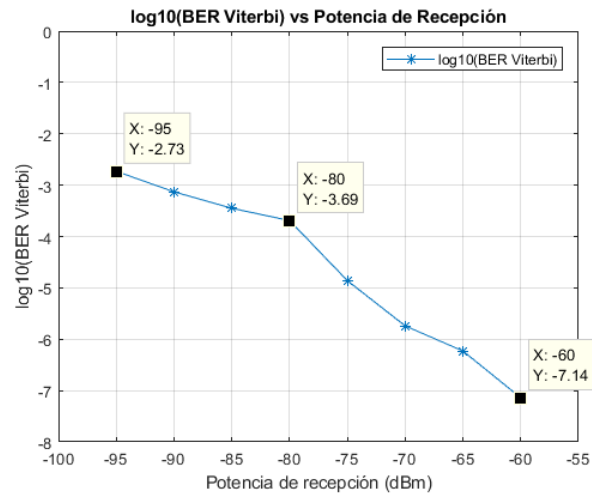
El intervalo de variación del nivel de potencia entre -75 a -60 dBm no sufre muchos cambios al existir un incremento de la misma, ya que la relación señal a ruido aumentó en 1 dB y para niveles de potencia inferior a -75 dBm la relación señal a ruido sufre un cambio abrupto debido al canal inalámbrico donde pudo haberse adicionado ruido en la transmisión, por lo que este parámetro no brinda tanta confiabilidad como el MER lo que se ve reflejado en la constelación de la señal.

Análisis del BER de Viterbi

La medición del BER de Viterbi se la realiza antes de la decodificación de Viterbi (Pre-Viterbi). La figura 72 muestra los resultados de las mediciones del VER en el algoritmo de Viterbi, mismo que se encuentra listado en la tabla 14 para cada uno de los niveles de potencia. El primer resultado que se muestra a -95 dBm indica que el decodificador detecta y corrige más errores a diferencia de una potencia de -60 dBm.

Figura 72

Valores de BER de Viterbi obtenidos para el sistema propuesto



Nota. La figura muestra los valores del BER de Viterbi para los niveles de potencia comprendidos entre -95 a -60 dBm a una escala de $\log_{10}(\text{BER Viterbi})$

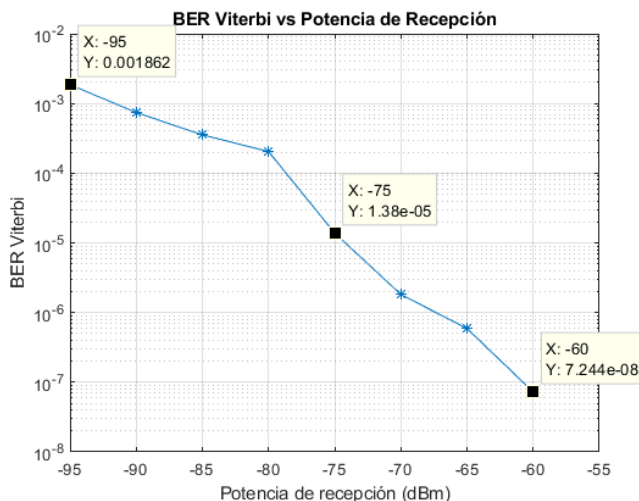
Posterior a ello, en la figura 73 se muestra las mediciones del BER de Viterbi en escala logarítmica. La recomendación de UIT-R BT.1368-12 establece que para una muy buena calidad los sistemas de televisión digital terrestre deben tener un $\text{BER} < 10^{-9}$ a 10^{-10} , para sistemas buenos $\text{BER} = 3 \times 10^{-6}$, un $\text{BER} = 10^{-3}$ a 10^{-5} para sistemas degradados y mala calidad para un $\text{BER} > 10^{-3}$ (UIT-R, 2018).

Los resultados indican que a medida que la potencia de recepción mejora la calidad de la señal y el decodificador de Viterbi detecta y corrige menos errores, lo que se puede observar en la constelación de la señal y por ende en la calidad de la imagen y audio.

Se puede apreciar que a una potencia de -60 dBm (70 dB de ganancia) en el SDR Adalm-Pluto el BER medido se encuentra en los parámetros de un sistema bueno debido a que detecta menos errores y es traducido en el parámetro del MER en la cual se obtuvo una buena señal.

Figura 73

Resultados del BER de Viterbi en escala logarítmica



Nota. La figura muestra los resultados del BER en el decodificador de Viterbi en escala logarítmica

Análisis del BER Reed Solomon

La medición del BER de Reed Solomon se la realiza antes de la decodificación Reed Solomon (Post-Viterbi7). La recomendación de UIT-R BT.1368-12 indica que el BER mínimo antes de la decodificación Reed Solomon debe tener un valor de $BER \leq 2 \times 10^{-4}$ y para después de la decodificación Reed Solomon corresponde a un $BER \leq 1 \times 10^{-11}$ (Flores, Benavides, Martínez, & Cherez, 2019).

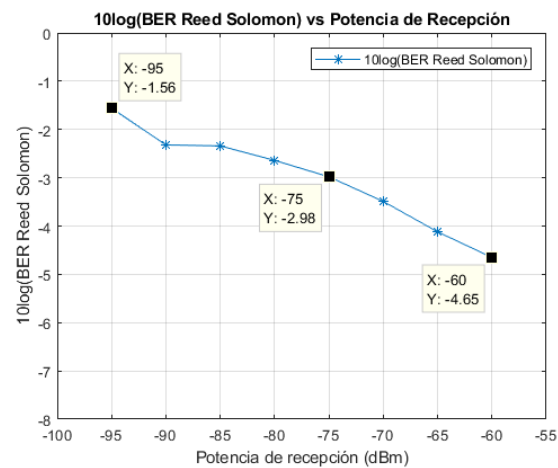
Al igual que para los casos anteriores, en la figura 74 y en la figura 75 los resultados se presentan para cada uno de los niveles de potencia. Se manifiesta el mismo caso que Viterbi en el que al detectar menos cantidad de errores la recepción mejora.

A pesar de que la señal pudo ser vista para niveles de potencia inferiores a -75 dBm el decodificador se encuentra trabajando en su máxima capacidad de corrección de errores. El valor obtenido en la medición del BER a -95 dBm se encuentra por encima de la capacidad de

corrección de errores para el bloque de procesamiento en GNU Radio del algoritmo de Reed Solomon por lo cual no debería ser considerado (Flores P. , 2016).

Figura 74

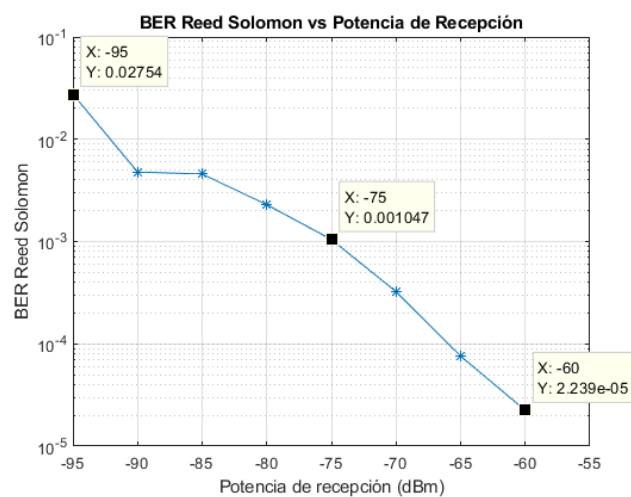
Valores de BER de Reed Solomon obtenidos para el sistema propuesto



Nota. La figura muestra los valores del BER en de decodificador Reed Solomon para los niveles de potencia a una escala de $\log_{10}(\text{BER Reed Solomon})$

Figura 75

Resultados del BER de Reed Solomon en escala logarítmica



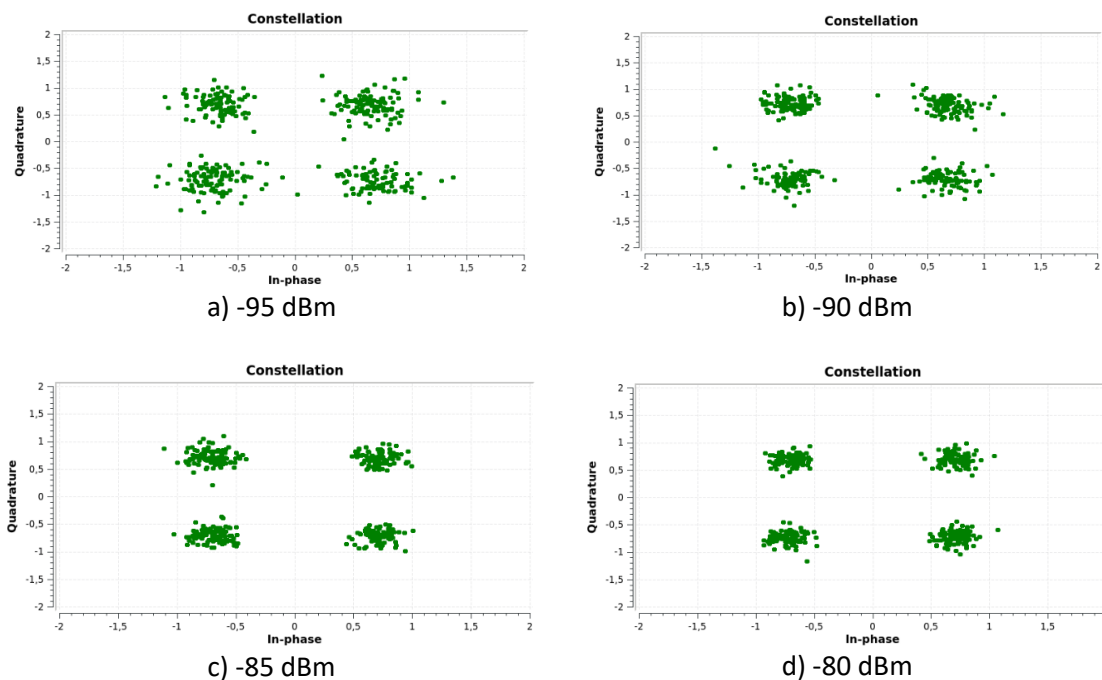
Nota. La figura muestra los resultados del BER en el decodificador de Reed Solomon en escala logarítmica para todos los niveles de potencia

Análisis de la constelación

El sistema implementado aparte de mostrar el espectro de la señal, el algoritmo de Van de Beek, la activación de la bandera de emergencia y las medidas objetivas, permite observar la constelación de la señal en la recepción correspondientes a las portadoras de datos en tiempo real. Se aprecia los resultados en la figura 76 y figura 77 para cada uno de los niveles de potencia lo cual mantiene una concordancia con los resultados del MER en cuanto a la calidad de la imagen y el video.

Figura 76

Constelaciones obtenidas en la recepción en un segmento para los niveles de potencia de -95 a -80 dBm



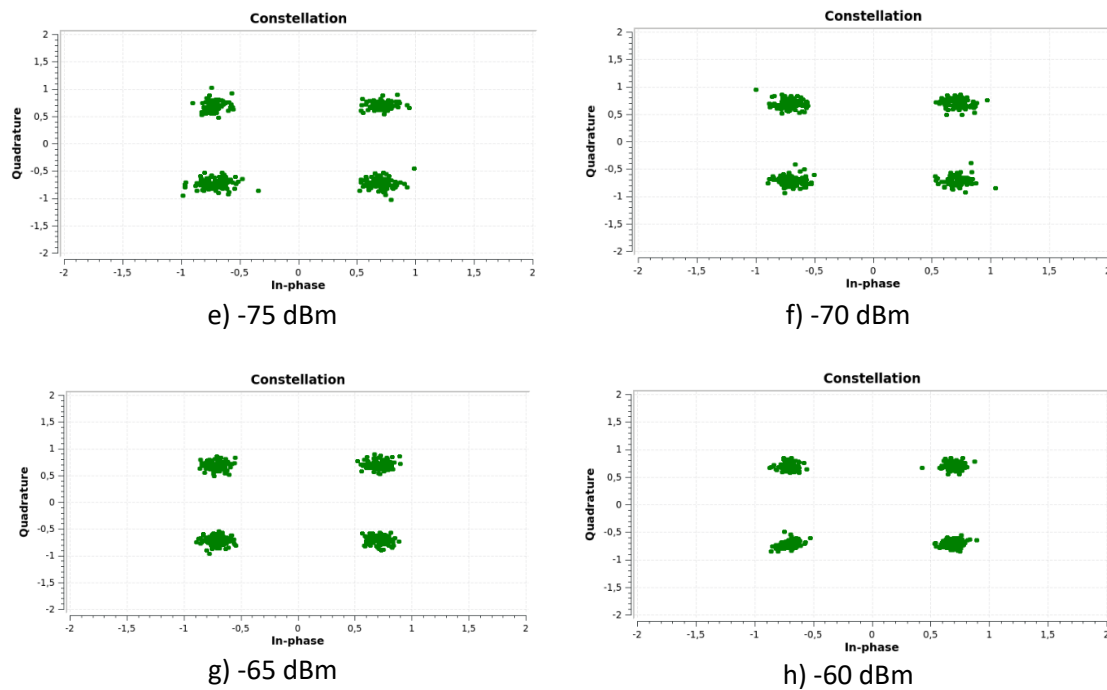
Nota. La figura muestra las constelaciones de la señal recibida entre -95 a -80 dBm

Se aprecia que a medida que la potencia aumenta en 5 dBm en cada una de las mediciones, la constelación de la señal con modulación QPSK se representa de mejor manera en sus cuatro puntos equidistantes del origen. Se observa que a -95 dBm la señal en la recepción no

es de buena calidad debido a que en el canal inalámbrico presenta ruido que se ha introducido a la señal.

Figura 77

Constelaciones obtenidas en la recepción en un segmento para todos los niveles de potencia de -75 a -60 dBm



Nota. La figura muestra las constelaciones de la señal recibida entre -95 a -60 dBm

Otros niveles de potencia que son importantes de analizar es el rango de -70 a -60 dBm en el que en base al MER se estableció que la señal es de una buena calidad, lo que se traduce en la forma de la constelación de la señal. A -75 dBm que se encuentra al margen del nivel de potencia permitido la constelación es muy similar al nivel de -70 dBm, pero en este caso ya la calidad de señal es regular. Es por ello, que para niveles de potencia inferiores a -80 dBm ya existe problemas en la recepción de la señal, a pesar de que puede ser visualizada en tiempo real.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Se concluyó mediante un análisis comparativo con otros SDRs comerciales que el Adalm-Pluto es la mejor opción en cuanto a las prestaciones y características técnicas para convertirse en un dispositivo de transmisión y de recepción. Además, en base a estudios y trabajos relacionados se establece que el software GNU Radio es la mejor opción para el desarrollo de algoritmos de procesamiento, principalmente porque puede instalarse en un software libre como Linux y consume menos recursos para aplicaciones en tiempo real, a pesar de que soporta lenguajes de programación como Matlab y Simulink.

Se presentó una alternativa de bajo costo para la implementación del receptor ISDB-Tb One-Seg, debido a que comparando con el USRP-2920 representa una reducción de costos en la implementación del receptor, ya que el equipo posee las mismas prestaciones y un rango de trabajo mucho más amplio para la elaboración de códigos y aplicaciones robustas.

Se logró extraer del Transport Stream la información del sistema de alerta de emergencia EWBS imprimiendo en detalle en la terminal de GNU Radio la información de la tabla PMT y el descriptor de la información de emergencia. Adicionalmente, exporta los códigos de área a un archivo de Excel codificando el Cantón y Provincia donde se detecta la emergencia de acuerdo a ISDB-T HARMONIZATION DOCUMENT en tiempo real, mediante el bloque *Read EWBS*.

Se realizó modificaciones al bloque del *TMCC Decoder 1-seg*, lo que permitió imprimir información adicional dentro de los 204 bits del TMCC y sobretodo el bit correspondiente a la activación de la bandera de EWBS el cual indica la presencia de algún fenómeno natural.

Además, la activación de la bandera es visualizada a través de la interfaz de control en GNU Radio cuando es detectada la activación en el descriptor de EWBS.

Con la idea de visualizar el mensaje de emergencia (texto de superposición), en base a experiencias con los equipos de EWBS suministrados por Japón para realizar pruebas del sistema EWBS en los laboratorios de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE con el apoyo de Intel, se propuso la visualización del mensaje a través de una LCD 16x2 mediante la comunicación serial entre Python y Arduino, consiguiendo establecer un sistema a menor escala pero que presenta similar funcionalidad a los display de los equipos de EWBS de Japón.

El receptor utiliza una frecuencia de muestreo dentro del parámetro del Adalm-Pluto para recibir ráfagas de datos de forma continua, la cual es 8 veces menor a la frecuencia de la FFT (teórica para receptores ISDB-Tb), lo que permite disminuir el coste computacional del sistema y disminuye posibles errores en tiempo y frecuencia.

El algoritmo implementado representa un sistema bastante confiable para los niveles de potencia en el que el SDR recibe la señal y se encuentra en el rango de -77 a -20 dBm de acuerdo a la recomendación de la norma ABNT NBR 15604:2007 para los niveles de recepción de la antena, ya que la señal recibida está dentro de los márgenes del MER para una calidad de buena señal.

Por medio de los resultados de las medidas objetivas se puede concluir que el sistema presenta resultados en el que la señal de recepción mejora a medida que el nivel de la recepción aumenta. Lo que se ve reflejado en el SNR donde al aumentar la potencia de recepción no existe mayor aumento de ruido a través del canal inalámbrico, de forma análoga al aumentar el nivel de potencia el BER de Viterbi y el BER de Reed Solomon detectan y corrigen menos errores lo cual se evidencia en la calidad de la recepción a -60 dBm con un BER de Viterbi de 7.244×10^{-8} superior al BER para un sistema bueno y un BER de Reed Solomon 2.239×10^{-5} .

Comparando las constelaciones obtenidas en todos los niveles de potencia es evidente la relación que mantiene el MER con la constelación de la señal, debido a que en el rango de -75 a -60 dBm se presenta la modulación QPSK en sus cuatro puntos equidistantes sin afectar de gran manera a la calidad de la imagen y sonido en la reproducción del video.

Finalmente, el dispositivo SDR Adalm-Pluto representa un elemento muy importante para el desarrollo de aplicaciones robustas de comunicaciones inalámbricas, como también para el ámbito educativo, debido a su amplio ancho de banda y gran flexibilidad permite manejar diferentes estándares inalámbricos como ISDB-Tb, LTE, GSM, ZigBee, radio AM, FM entre otras. Toda la capa física está conformada por software, la misma que puede ser configurada para que trabaje con distintos tipos de modulaciones como receptor o transmisor.

Recomendaciones

Al configurar los parámetros del PlutoSDR Source se recomienda no sobrepasar los valores indicados en su hoja técnica como lo indica el fabricante, además se debe verificar la información que facilita la guía del bloque SDR del Adalm-Pluto en GNU Radio para la frecuencia de muestreo máxima cuando recibe información de forma continua el dispositivo.

Por otro lado, es evidente que este trabajo requiere la implementación de una bocina (alarma) y un interruptor para el visualizador de la emergencia, de tal manera que el sistema ofrezca mayores prestaciones y evitar la manipulación de la ejecución del algoritmo en Python para habilitar la lectura del LCD. Además, se podría realizar modificaciones en el algoritmo para mejorar aspectos como el número de caracteres de la emergencia para la visualización.

También se considera la programación de nuevos bloques de DSP para que el sistema permita no solamente leer un mensaje de emergencia, sino varios mensajes en distintos PID como las terminales de colores propuestas por el sistema implementado por Japón.

Por último, se recomienda utilizar un computador con sistema operativo Linux y evitar el uso de una máquina virtual, debido a que puede afectar en el rendimiento del sistema, ya que al tratarse de un sistema que trabaja en tiempo real se requiere que el ordenador trabaje a su mayor capacidad.

Trabajos Futuros

Como parte de la continuación del presente trabajo se requiere la implementación del transmisor de One-Seg orientado a los sistemas de alerta de emergencia EWBS (en inglés, Emergency Warning Broadcasting System), el cual sea capaz de modular la señal de ISDB-Tb con múltiples mensajes de audio y video al mismo tiempo y con la programación de la señal de emergencia. Esto se propone debido a que sería de gran ayuda para el país e involucra la realización de un algoritmo similar al receptor de One-Seg para EWBS.

A partir del receptor y transmisor para One-Seg se podría llevar a cabo la implementación del sistema de televisión digital para ISDB-Tb Full-Seg de punta a punta utilizando como hardware un SDR con la capacidad de realizar un sistema de televisión sumamente flexible y configurable de tal manera, que se pueda realizar aplicaciones como la de una estación transmisora de televisión comunitaria, considerando que los costos son relativamente bajos, debido a que todo el proceso de transmisión y recepción se lo realiza a través de software.

Por último, sería de gran importancia la elaboración de guías de laboratorio para la materia de Fundamentos de Comunicaciones de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones utilizando Radio Definida por Software. Para ello, se podría utilizar el SDR Adalm-Pluto y el Software GNU Radio para el desarrollo de aplicaciones de comunicaciones inalámbricas en el que los estudiantes puedan experimentar de forma práctica el procesamiento señales.

Referencias

- ABNT NBR 15601. (2007). *Televisión digital terrestre - Sistema de transmisión ISDB-Tb*. Río de Janeiro: Norma Brasileña. Obtenido de http://www.telemidia.puc-rio.br/~rafaeldiniz/public_files/normas/SBTVD/es/Transmicion/15601.pdf
- ABNT NBR 15602-3. (2007). *Televisión digital terrestre - Codificación de video, audio y multiplexación Parte 3: Sistemas de multiplexación de señales* (Primera ed.). Río de Janeiro: Norma Brasileña. Obtenido de http://www.telemidia.puc-rio.br/~rafaeldiniz/public_files/normas/SBTVD/es/Codificacion/ABNTNBR15602_2D3_2007Esp_2008.pdf
- ABNT NBR 15603-1. (2007). *Televisión digital terrestre — Multiplexación y servicios de información (SI) Parte 1: SI del sistema de radiodifusión* (Primera ed.). Río de Janeiro: Norma Brasileña. Obtenido de http://www.telemidia.puc-rio.br/~rafaeldiniz/public_files/normas/SBTVD/es/Multiplexacion/ABNTNBR15603_2D1_2007Esp_2008.pdf
- ABNT NBR 15603-2. (2007). *Televisión digital terrestre - Multiplexación y servicios de información (SI) Parte 2: Estructura de datos y definiciones de la información básica de S* (Primera ed.). Río de Janeiro: Norma Brasileña ABNT NBR 15603-2. Obtenido de http://www.telemidia.puc-rio.br/~rafaeldiniz/public_files/normas/SBTVD/es/Multiplexacion/ABNTNBR15603_2D2_2007Esp_2008Vc_2009.pdf
- ABNT NBR 15604. (2007). *Televisión digital terrestre - Receptores*. Río de Janeiro: Norma Brasileña. Obtenido de http://www.telemidia.puc-rio.br/~rafaeldiniz/public_files/normas/SBTVD/es/Receptores/ABNTNBR15604_2007Esp_2008.pdf

- Analog Devices. (2017). *ADALM-PLUTO SDR Active Learning Module*. Obtenido de <https://www.analog.com/media/en/news-marketing-collateral/product-highlight/ADALM-PLUTO-Product-Highlight.pdf>
- Analog Devices. (2017). *ADALM-PLUTO Software-Defined Radio Active Learning Module*. Obtenido de <https://www.analog.com/en/design-center/evaluation-hardware-and-software/evaluation-boards-kits/adalm-pluto.html#eb-overview>
- Analog Devices. (30 de Noviembre de 2019). *Linux Drivers*. Obtenido de <https://wiki.analog.com/university/tools/pluto/drivers/linux>
- Analog Devices. (5 de Junio de 2020). *Github*. Obtenido de <https://github.com/analogdevicesinc/libiio>
- Analog Devices. (2021). *Software Defined Radio (SDR)*. Obtenido de <https://www.analog.com/en/applications/markets/communications-pavilion-home/software-defined-radio.html>
- ARIB. (2005). *Transmission System for Digital Terrestrial Television Broadcasting (Vol. II)*. Association of Radio Industries and Businesses. Obtenido de http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/6-STD-B31v1_6-E2.pdf
- ARIB. (2006). *Digital Terrestrial Television Broadcasting Specifications for Data Broadcasting Operations (Vol. III)*. Association of Radio Industries and Businesses. Obtenido de https://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/8-TR-B14v2_8-1p3-2-E2.pdf
- ARIB. (2008). *Service Information for Digital Broadcasting System*. Association of Radio Industries and Businesses . Obtenido de http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/6-STD-B10v4_6-E2.pdf
- CEPRA-CEDIA. (2020). *CEPRA XII: PROYECTOS GANADORES*. Obtenido de <https://www.cedia.edu.ec/es/proyectos-ganadores/cepra-xii/desarrollo-de-un->

prototipo-de-alerta-temprana-usando-ewbs-y-contenidos-interactivos-en-tv-digital-
para-minimizar-el-riesgo-de-afectacion-a-la-poblacion-en-caso-de-fenomenos-naturales

Collins, T., Getz, R., Pu, D., & Wyglinski, A. (2018). *Software-Defined Radio for Engineers*. Estados Unidos: Artech House.

de Bruin, R., & Smits, J. (1999). *Digital Video Broadcasting Technology Standards, and Regulations*. London: Artech House.

Flores, M., Benavides, L., Martínez, F., & Cherrez, S. (2019). Análisis Técnico del Sistema de Transmisión de Televisión Digital Terrestre en Guayaquil. *INVESTIGATIO* (12), 79-92.
doi:<http://dx.doi.org/10.31095/investigatio.2019.12.5>

Flores, P. (2016). La norma ISDB-T y un receptor implementado en SDR. (*Tesis de Maestría presentada a la Facultad de Ingeniería*). Universidad de la República, Montevideo.

Garzón, J. (2018). Implementación de un receptor One-Seg utilizando la plataforma de Radio definida por software USRP para el estándar ISDB-Tb. (*Tesis de ingeniería*). Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, Quito.

Getz, R. (14 de Enero de 2021). *ADALM-PLUTO Overview*. (Analog Devices) Obtenido de <https://wiki.analog.com/university/tools/pluto>

GNU Radio. (10 de Junio de 2021). *GNU Radio The Free Software & Open Software Radio Ecosystem*. Obtenido de <https://www.gnuradio.org/>

GNU Radio. (4 de Julio de 2021). *OutOfTreeModules*. Obtenido de <https://wiki.gnuradio.org/index.php/OutOfTreeModules>

IGEPN. (16 de Agosto de 2016). *Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1376-cronicas-de-la-erupcion-del-volcan-cotopaxi-2015>

- IGEPN. (16 de Abril de 2016). *Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de <https://www.igepn.edu.ec/eq20160416-informes-noticias>
- IGPEN. (2020). *Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de <https://www.igepn.edu.ec/cotopaxi>
- ISDB-T. (2008). *ISDB-T Official Web Site*. Obtenido de <https://www.dibeg.org/index.html>
- ISDB-T International. (28 de Mayo de 2015). *ISDB-T Documento de Armonización Parte 3: Sistema de Alerta de Emergencia EWBS*. ISDB-T International Forum. Obtenido de https://www.dibeg.org/techp/aribstd/international_harmonization/151130_ISDB-T_Harmonization_Document_EWBS_en.pdf
- JICA. (15 de Enero de 2016). *Japan International Cooperation Agency*. Obtenido de <https://www.jica.go.jp/peru/espanol/office/topics/160115.html>
- Kock, D. (2020). ADI SDR Transceivers Enable Amateur Space Communication. *Analog Dialogue, LIV*, 1-3. Obtenido de <https://www.analog.com/media/en/analog-dialogue/volume-54/number-1/adi-sdr-transceivers-enable-amateur-space-communication.pdf>
- Larroca, F., Flores, P., Gómez, G., González, V., & Belzarena, P. (2016). An open and free ISDB-T full seg receiver implemented in GNU radio. *Wireless Innovation Forum Conference on Wireless Communications Technologies and Software Defined Radio (WInnComm 16)*, 1-10. Obtenido de <https://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2016/LFGGB16>
- López, J. (2017). Implementación de un Sistema de Comunicaciones basado en SDR mediante GNU Radio. (*Tesis de Ingeniería*). Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.
- Luna, C. (2019). Pruebas de campo sobre propagación de ondas electromagnéticas mediante la implementación de un radioenlace con equipos de radio definida por software. (*Tesis de ingeniería*). Escuela Politécnica Nacional, Quito.

- Masayuli, T. (12 de Marzo de 2008). *ISDB-T Tecnologías de transmisión y sistemas de alertas de emergencia*. Obtenido de https://www.dibeg.org/news/2008/0803Colombia_ISDB-T_seminar/2_ISBT_ews_Spanish.pdf
- MathWorks. (s.f.). *Software Defined Radio (SDR)*. (MathWorks) Obtenido de <https://la.mathworks.com/discovery/sdr.html>
- MINTEL. (2017). *TDT - Televisión Digital Terrestre*. Obtenido de <https://tdtecuador.mintel.gob.ec/>
- Miyano, T., & Wada, T. (2010). Performance Evaluation of Front-End Signal Processing Receiver for ISDB-T 1SEG Software Defined Radio. *Graduate School of Engineering and Science*. University of the Ryukyus, Japan. Obtenido de <https://ie.u-ryukyu.ac.jp/~wada/Papers/ITC-CSCC2010-Miyano.pdf>
- Navarrete, D. (2016). Implementar el sistema de transmisión de alerta de emergencia (EWBS) en la plataforma de Villageflow para activar aplicaciones TDT de Alertas Tempranas. (*Tesis de Ingeniería*). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba.
- Olmedo, G. (2020). *Televisión Digital Terrestre*. Quito: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Olmedo, G., & Garzón, J. (2018). Partial ISDB-Tb receiver implemented on a software defined radio platform. *IEEE Xplore: 2018 13th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 1-4. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8399269>
- Olmedo, G., & Garzón, J. (2018). Partial ISDB-Tb receiver implemented on a software defined radio platform. *IEEE Xplore: 13th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 1-4. doi:10.23919/CISTI.2018.8399269
- Olmedo, G., Acosta, F., Haro, R., Villamarín, D., & Benavides, N. (2019). Broadcast Testing of Emergency Alert System for Digital Terrestrial Television EWBS in Ecuador. *Springer, 1004*, 176-187. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-23862-9_13

- Olmedo, G., Acosta, F., Villamarin, D., Santander, F., Achig, R., & Morocho, V. (2021). Prototype of a Centralized Alert and Emergency System for Digital Terrestrial Television in Ecuador. *Springer, 1326*, 191-201. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-68080-0_14
- Olmedo, G., Sambrano, Y., Acosta, F., & Paredes, N. (2021). Design and Implementation of a EWBS Gateway over an IP Telephone Network. *Springer, 1433*, 31-44. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-81996-5_3
- Pozo, M., Moncayo, T., Bernal, I., & Mejía, D. (2015). Desarrollo de un Analizador de Flujos Únicos de Paquetes de Transporte TS Conformados de Acuerdo a la Norma de TV Digital ISDB-Tb. *Revista Politécnica*, 9. Obtenido de <https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen35/tomo1/DesarrollodeunAnalizadordeFlujos.pdf>
- PROMAX. (5 de Diciembre de 2017). *EWBS: Detección de alarmas por terremoto*. Obtenido de <https://www.promax.es/esp/noticias/511/ewbs-deteccion-de-alarmas-por-terremoto/>
- Recalde, C. (2016). Análisis y generación de flujo de transporte con superposición de texto para alerta temprana en servicios de televisión digital terrestre. (*Tesis de ingeniería*). Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, Quito.
- Sakaguchi, Y., Yoshimi, T., & Maruyama, Y. (2013). *Estandarización del Sistema de Alerta de Emergencia EWBS*. Obtenido de https://www.dibeg.org/news/2013/1310_An_Article_about_the_Standardization_of_EWBS/nb25-4_web-6_bt-ewbs_spanish.pdf
- Sambrano, Y. (2019). Diseño e implementación de una interfaz que adapte una señal de emergencia de televisión digital a la Red Telefónica IP de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. (*Tesis de Ingeniería*). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Quito.

- Segura, A., Olmedo, G., Acosta, F., & Santillán, M. (2015). Designing a system for monitoring and broadcasting early warning signs of natural disasters for Digital Terrestrial Television. *IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM)*, 1-6.
doi:10.1109/LATINCOM.2015.7430119
- Segura, J., & Olmedo, G. (2015). Diseño de un sistema de monitorización y emisión de señales de alerta temprana de desastres naturales para TDT. (*Tesis de Ingeniería*). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Quito.
- Shogen, K. (2009). *HANDBOOK ON EWBS (Emergency Warning Broadcasting Systems)*. Japon.
- SWIG. (18 de Abril de 2019). *Simplified Wrapper and Interface Generator*. Obtenido de <http://swig.org/>
- Takahashi, Y. (Junio de 2007). *Antecedentes técnicos de la recepción parcial de 1 segmento (One-Seg) - DiBEG*. Obtenido de [https://www.dibeg.org/news/previous_doc/0706_3Argentina_ISDB-T_seminar/Argentina_ISDB-T_seminar_4_one_seg\(Spanish\)rev1.pdf](https://www.dibeg.org/news/previous_doc/0706_3Argentina_ISDB-T_seminar/Argentina_ISDB-T_seminar_4_one_seg(Spanish)rev1.pdf)
- UIT-R. (2018). *Criterios para la planificación, incluidas las relaciones de protección, de los servicios de televisión digital terrenal en las bandas de ondas métricas/decimétricas*. Ginebra: Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU). Obtenido de https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.1368-12-201502-S!!PDF-S.pdf
- Villamarín, D., Olmedo, G., Lara, R., & Illescas, M. (2012). Generación de Transport Stream con Audio, Video y Datos de Interactividad para el Sistema de Televisión Digital Terrestre ISDB-Tb. *Maskay, II*, 44-55. doi:<http://dx.doi.org/10.24133/maskay.v2i1.147>
- Xilinx. (2 de Julio de 2018). *Zynq-700 Soc Data Sheet: Overview*. Obtenido de https://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds190-Zynq-7000-Overview.pdf

Anexos