



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**CARRERA:**

**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Tesis previa a la obtención de Título de Ingeniero Electrónico**

**TEMA:**

**DISEÑO DE UN ALGORITMO PARA EL ANÁLISIS Y MONITOREO DEL  
ESTÁNDAR ISDB-Tb DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE  
USANDO UNA PLATAFORMA DE RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE**

**AUTORES:**

**MARÍA FERNANDA RODRÍGUEZ LIMONES**

**MARÍA MAGDALENA RUGEL ANCHUNDIA**

**DIRECTOR:**

**ING. CARLOS BÓSQUEZ**

**Guayaquil, abril 2015**

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Los conceptos desarrollados, análisis realizados y conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de los autores y la propiedad intelectual es de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, abril del 2015

(f)\_\_\_\_\_

María Fernanda Rodríguez

CI: 0927104463

(f)\_\_\_\_\_

María Magdalena Rugel

CI: 0921343786

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo con todo amor a Dios, ya que sin él no hubiera sido posible lograr esta meta, ni compartir tanta alegría con mi familia.

A mis padres por darme siempre su apoyo y depositar su entera confianza en cada paso que doy, demostrando cada uno de los valores que me fueron inculcados. Este será el primero de los muchos logros que conseguiré contando con su amor y fe en mí.

A toda mi familia ya que ellos son pilares fundamentales en cada paso que doy y nunca dudaron en que alcanzaría mi meta.

María Fernanda Rodríguez

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente proyecto a mi familia: mi papá David, mi mamá María, mis dos hermanas, Verónica y Stephanie, y a mi sobrina Dalia. A ellos, la razón de mi existencia.

María Rugel Anchundia

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta este momento tan anhelado, por guiarme siempre por el camino indicado, sin desviarme de la meta.

A mi padre, Arcelino Rodríguez, por ser un apoyo incondicional y un ejemplo a seguir, enseñándome que se puede salir adelante a pesar de las adversidades. Por todo el esfuerzo realizado, con el fin de darme la mejor educación.

A Sonia Limones, por ser una madre en todo el sentido de la palabra, por darme siempre los mejores consejos, por su voz de aliento en cada paso, por enseñarme a no rendirme sin importar lo complicado que sean los obstáculos. Por su gran corazón, su amabilidad, todos sus buenos valores que me llevaron a ser la persona que soy en la actualidad.

A mis hermanos, mi abuelita y mis amigos, por formar parte de este largo camino y confiar en mí, en que puedo lograr todo lo que me proponga. A una persona muy especial que me ha dado esa voz de aliento para no decaer, por ser una de mis grandes motivaciones, Ervin Solano.

Un agradecimiento total a todos los profesores de la carrera Ingeniería Electrónica ya que todos ellos aportaron para que pueda cumplir este sueño; en especial al Ing. Carlos Bósquez quien, además de ser nuestro tutor de tesis, nos brindó su amistad y juntos pudimos lograr este sueño.

María Fernanda Rodríguez

## AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera muy especial al Sr. Ing. Arnoldo David Rugel Córdova, mi padre, mi mentor y mi número uno. Gracias por cada uno de esos momentos que estuvo a mi lado, por ser mi pilar y mi apoyo a través de los años, aun cuando no le hice caso y escogí Ingeniería (nuestra broma). Por todos los sacrificios que realizó en pro de este sueño.

A mi amada madre y amiga, María Anchundia, por animarme siempre a seguir adelante con esta pelea y a no dejarme vencer por las adversidades, recordándome constantemente lo orgullosa que esta de mí. Por amarme incondicionalmente y hacerme la persona que soy hoy, una mujer independiente y fuerte. Sin ella, sería nadie.

A mis hermanas, Verónica Rugel, Stephanie Rugel y Raquel Grünauer; por acompañarme en este camino y creer en mí. Por todas esas experiencias compartidas, alegrías y tristezas. Las amo.

A toda mi familia, los Rugel y los Anchundia, por ser una motivación constante; en especial a mi abuela Celeste de Anchundia, por demostrarme que nunca es tarde para obtener lo que se anhela (¡Felicidades por su incorporación!)

A mi mejor amiga y compañera de tesis, María Fernanda Rodríguez, por soportarme todo este tiempo. Por impulsarnos a superar los límites que nos han impuesto. Por todo el compromiso que ha entregado a este proyecto, que es tan mío como suyo.

A mis compañeros de guerra y amigos, esos que gane a lo largo de mi vida universitaria y que nunca saldrán de mi corazón: Angel Carrera, Roger Yagual, Sixto Ponce, George Saltos, Cristhian Peña, David Espinoza, Daniel Bayas, David Araujo y especialmente a Steve Zúñiga.

A todas esas personas que aparecieron a lo largo de este camino, ya sea desde hace años o recientemente, que de una forma u otra han causado un gran impacto en mí: mis perdidos Gabriel Ruiz, Enrique Colmont, Luis Gómez, Rommel Zúñiga, Gustavo La Mota y por supuesto, mi mejor amigo Kavir Cuadros, por todas esas aventuras; a Juan José Ampuero, por todas esas cosas que, aunque pudieron calificarse como

pequeñas, significaron mucho para mí; a mis amigos de Totem Running, gracias por contagiarme con su locura, en especial a Mayra Bajaña, Katherine Córdova, Cinthya Delgado, Óscar Benítez y Elías Vera.

Agradezco inmensamente a todos los profesores de la carrera Ingeniería Electrónica por la instrucción otorgada; por su dedicación en inculcarnos no solo conocimientos técnicos, sino también morales. Hago un reconocimiento muy especial al Ing. Carlos Bósquez y al Ing. Ricardo Cajo por el gran apoyo que nos brindaron en esta última etapa de nuestra vida universitaria.

¡Gracias totales!

María Rugel Anchundia

## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	1
--------------------	---

### **CAPÍTULO I: EL PROBLEMA**

1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Delimitación del Problema.....	3
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 Objetivo general .....	3
1.3.2 Objetivos específicos .....	3
1.4 Justificación.....	4
1.5 Hipótesis.....	4
1.6 Variables e Indicadores .....	5
1.7 Metodología .....	5
1.7.1 Métodos.....	5
1.7.2 Técnicas.....	6
1.7.3 Instrumentos de Investigación y Recolección de Datos.....	6
1.8 Población y Muestra.....	7
1.9 Descripción de la Propuesta .....	7
1.10 Beneficiarios .....	7
1.11 Impacto.....	8

### **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

2.1 Antecedentes .....	9
2.2 Televisión Digital Terrestre .....	10
2.2.1 Definición.....	10
2.2.2 Características .....	10
2.2.3 Estándares de Televisión Digital.....	11
2.2.4 Televisión Digital en Latinoamérica.....	13
2.2.5 Organización del Espectro Radioeléctrico .....	17
2.3 Estándar ISDB-T.....	19
2.3.1 Estándar ISDB-Tb.....	21

2.3.2 Estructura del ISDB-T.....	22
2.3.2.1 Bloque de código fuente.....	23
2.3.2.2 Bloque de multiplexación .....	23
2.3.2.3 Bloque de transmisión.....	24
2.3.3 Ventajas del ISDB-T .....	24
2.3.3.1 Alta calidad/ flexibilidad del servicio. ....	24
2.3.3.1.1 Alta calidad .....	24
2.3.3.1.2 Flexibilidad del servicio.....	25
2.3.3.1.2.1 MPEG-2 y MPEG-AAC.....	25
2.3.3.1.2.2 MPEG-2 Sistemas para Multiplex.....	26
2.3.3.2 Robustez/ flexibilidad de recepción.....	27
2.3.3.3 Utilización efectiva del recurso de frecuencias.....	27
2.3.3.3.1 Tecnología de transmisión OFDM (robustez en contra de multi-path, SFN red isofrecuencia).....	28
2.3.3.4 Movilidad/ portabilidad.....	30
2.3.3.4.1 Transmisión segmentada OFDM .....	30
2.3.3.4.2 16QAM .....	31
2.3.3.4.3 Receptor OFDM.....	32
2.3.3.5 Sincronizador .....	33
2.3.3.5.1 Sincronización por correlación .....	33
2.3.3.5.2 Sincronización diferencial de prefijo cíclico.....	35
2.3.3.6 Remoción prefijo cíclico .....	36
2.3.3.7 FFT .....	37
2.3.3.8 Descomposición de la trama .....	37
2.3.3.9 Estimador .....	37
2.3.3.10 Formato de compresión de audio y video .....	38
2.3.3.10.1 Sistema de compresión de audio .....	39
2.3.3.10.2 Sistema de compresión de video .....	40
2.3.3.11 Servicio One-seg .....	41
2.3.3.12 Compatibilidad.....	41
2.3.3.13 Uso para casos de prevención de desastres.....	41
2.4 Software LabVIEW.....	42
2.4.1 ¿Qué es LabVIEW?.....	42

2.4.2 Programación en LabVIEW .....	42
2.4.3 Interfaz en LabVIEW .....	43
2.5 USRP (Universal Software Radio Peripheral) .....	43
2.5.1 Dimensiones físicas del NI-USRP-2920 .....	43
2.5.2 Condiciones ambientales para el uso del NI-USRP-2920.....	43
2.5.3 Interfaces del NI-USRP-2920 .....	44
2.5.3.2 Puerto de recepción de RF secundario.....	44
2.5.3.3 Puerto de entrada para señal de referencia externa.....	45
2.5.3.4 Puerto de entrada para señal de referencia de tiempo.....	45
2.5.3.5 Puerto MIMO .....	45
2.5.3.6 Puerto Gigabit Ethernet.....	45
2.5.3.7 Entrada de alimentación de poder .....	45

### **CAPÍTULO III: IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO**

3.1 Antecedentes .....	46
3.2 Esquema del proyecto .....	47
3.2.1 Diagrama técnico de proyecto.....	47
3.3.1 Etapa de programación.....	48
3.3.1.1 Introducción .....	48
3.3.1.2 Conexión de una red de área local entre computador y el NI-USRP 2920....	49
3.3.1.3 Desarrollo del software controlador (SDR) .....	51
3.3.1.3.1 Antecedentes .....	51
3.3.1.3.2 Programa controlador de recepción de señal .....	51
3.3.1.3.2.1 Campos de la interfaz de programa.....	53
3.3.1.3.2.1.1 Campos de los parámetros del USRP.....	53
3.3.2 Etapa de recepción de datos .....	54
3.3.2.1 Programación del controlador de recepción.....	55
3.3.2.1.1 Diagrama de bloques.....	55
3.3.2.1.2 Etapa de programación de bloques del NI-USRP.....	56
3.3.2.1.3 Etapa de presentación de datos .....	61

## **CAPÍTULO IV**

4.1 Presentación de resultados .....	62
4.2 Pruebas de Laboratorio .....	62
CONCLUSIONES .....	71
RECOMENDACIONES .....	72
CRONOGRAMA .....	73
PRESUPUESTO .....	75
REFERENCIAS .....	76
ANEXOS .....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Especificaciones del estándar ISDB-T.....	21
Tabla 2 Especificaciones del estándar ISDB-Tb.....	22
Tabla 3 Calidad/ Formato adoptado en la transmisión digital. ....	25
Tabla 4 Audio Calidad/ formato adoptado en la transmisión digital .....	26

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ventajas de la TDT .....	11
Figura 2 Mapa de distribución de los estándares de Television Digital .....	12
Figura 3 Distribución de los estándares de Televisión Digital .....	13
Figura 4 Países que completaron el apagón analógico.....	15
Figura 5 Países en proceso de digitalización .....	16
Figura 6 Países en proceso de digitalización .....	17
Figura 7 Organización del canal en segmentos.....	18
Figura 8 Estructura del sistema de transmisión digital (ISDB-T Japonés) .....	23
Figura 9 Formato Multiplexado en el sistema ISDB-T.....	27
Figura 10 Diagrama conceptual para la relación entre la modulación y las longitudes de símbolo. ....	28
Figura 11 Relación de retardo multi-path e ICI. ....	29
Figura 12 Imagen del “Sistema de transmisión en modo jerárquico” (caso de 2 grupos). ....	30
Figura 13 Diagrama del sistema 16QAM. ....	31
Figura 14 Diagrama de constelación 16QAM. ....	32
Figura 15 Diagrama lógico sincronizador por correlación .....	34
Figura 16 Señal de sincronización por correlación.....	35
Figura 17 Diagrama Lógico sincronizador. ....	35
Figura 18 Señal de sincronización diferencial. ....	36
Figura 19 Magnitud y fase del canal estimador. ....	38
Figura 20 Estándares de referencia utilizados por ISDB-Tb .....	39
Figura 21 Subsistema de audio dentro de un sistema de televisión digital.....	40

Figura 22 Diagrama de proceso. ....	47
Figura 23 Mapa conceptual de etapas .....	48
Figura 24 Funciones de red .....	49
Figura 25 Propiedades de TCP/IPV4.....	50
Figura 26 Comando ping para verificación de conexión. ....	50
Figura 27 Panel de control del controlador .....	52
Figura 28 Configuración de parámetros del USRP.....	53
Figura 29 Gráficas de datos procesados.....	54
Figura 30 Diagrama de bloques del programa controlador.....	55
Figura 31 niUSRP Open Rx Session.....	56
Figura 32 VI sesión of class .....	56
Figura 33 niUSRP Configure Signal.....	56
Figura 34 niUSRP Initiate.....	57
Figura 35 niUSRP Fetch Rx Data (Poly).....	57
Figura 36 Algoritmo (SubVI) .....	57
Figura 37 CPRE .....	58
Figura 38 Sincronización diferencial de prefijo cíclico .....	58
Figura 39 CFOC.vi.....	58
Figura 40 FFT.vi .....	59
Figura 41 CEROB.vi.....	59
Figura 42 ESTCAN.vi.....	59
Figura 43 MT Map Symbols to Bits.vi .....	60
Figura 44 MT Calculate BER .....	60
Figura 45 niUSRP Abort.vi.....	60

Figura 46 niUSRP Close Session.....	60
Figura 47 Diagrama lógico del receptor OFDM.....	61
Figura 48 Laboratorio de Telecomunicaciones.....	62
Figura 49 Campos de parámetros para la modulación QAM.....	64
Figura 50 Campos de parámetros del USRP y rango de frecuencias.....	64
Figura 51 Número de mapeos .....	65
Figura 52 Bits receptados.....	65
Figura 53 Espectro electromagnético.....	66
Figura 54 OFDM en gráficas: Fourier, Theta, Magnitud, datos ecualizados y sin ecualizar .....	66
Figura 55 Constelación de recepción .....	67
Figura 56 Diagrama de Ojo de la señal recibida.....	67
Figura 57 Valores de medición tales como, MER, EVM, Error de Fase.....	68
Figura 58 Tabla de valores almacenados en una matriz .....	68
Figura 59 Botón STOP.....	69
Figura 60 Tabla de frecuencias de principales canales ecuatorianos.....	69

## RESUMEN

AÑO	ALUMNOS	DIRECTOR DE TESIS	TEMA DE TESIS
2015	MARÍA FERNANDA RODRÍGUEZ LIMONES.  MARÍA MAGDALENA RUGEL ANCHUNDIA	ING. CARLOS BÓSQUEZ	“DISEÑO DE UN ALGORITMO PARA EL ANÁLISIS Y MONITOREO DEL ESTÁNDAR ISDB-Tb DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE USANDO UNA PLATAFORMA DE RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE”

El presente trabajo describe el diseño de un algoritmo que permite ejecutar el análisis de señales de ISDB-Tb de Televisión Digital Terrestre con el fin de monitorear y comparar los niveles de calidad entre los canales de televisión abierta mediante la medición de parámetros establecidos por la ARCOTEL. Como elementos principales se cuenta con un radio definido por software llamado NI-USRP-2920, una antena y el software LabVIEW.

El algoritmo desarrollado les permitirá a los estudiantes observar, analizar y comprender mediante la práctica, la recepción de señales RF, los diagramas que éstos presentan, tipos de modulaciones/ demodulaciones, etc.; asimilando con mayor facilidad las teorías generales de telecomunicación. Además de demostrar el tipo de aplicaciones que se pueden implementar con el NI-USRP y el software LabVIEW.

El proyecto dará la pauta a nuevas investigaciones y temas de tesis sobre los avances que se obtengan en el campo de la Televisión Digital Terrestre, y a su vez será de gran apoyo para los estudiantes, quienes podrían identificarse con esta especialidad y desempeñarse en ésta área. El sistema desarrollado se basa en las tecnologías

estudiadas sobre propagación, radioenlaces y comunicaciones digitales en la carrera Ingeniería Electrónica mención en Telecomunicaciones.

**Palabras claves:** Software Definido por Radio, NI- USRP, LabVIEW, Televisión Digital Terrestre, ISDB-Tb, Recepción de señales, Telecomunicaciones.

## ABSTRACT

YEAR	STUDENTS	ADVISOR	THESIS TITLE
2015	MARÍA FERNANDA RODRÍGUEZ LIMONES.  MARÍA MAGDALENA RUGEL ANCHUNDIA.	ENG. CARLOS BÓSQUEZ	“DESIGN OF AN ALGORITHM FOR THE ANALYSIS AND MONITORING OF THE ISDB-Tb STANDARD OF DIGITAL TERRESTRIAL TELEVISION USING A SOFTWARE DEFINED RADIO PLATAFORM”

This paper describes the design of an algorithm to perform ISDB-Tb Digital Terrestrial Television signal analysis to monitor and compare quality levels among television channels by measuring parameters established by ARCOTEL. As main elements it was used a software defined radio call NI-USRP-2920, an antenna and the LabVIEW software.

The developed algorithm will allow students to observe, analyze and understand through practice the reception of RF signals, diagrams that it presents, types of modulation/ demodulation, etc., providing an easier comprehension of the general theories of telecommunication. In addition to demonstrating the kind of applications that can be implemented by the NI-USRP and LabVIEW.

This project will provide the basis for further research and thesis topics on the progress obtained in the field of Digital Terrestrial Television, and in turn, it will be of great support for students, who might identify with this specialty and perform in this area. The developed system is based on the technologies studied on propagation, radio and digital communications in the career Electronic Engineering, major in Telecommunications.

**Key words:** Software Defined Radio, NI-USRP, LabVIEW, Digital Terrestrial TV, ISDB-Tb, Signals reception, Telecommunication.

## **INTRODUCCIÓN**

El presente proyecto trata sobre el diseño e implementación de un analizador de señales ISDB-Tb de Televisión Digital Terrestre mediante el uso de un Software Definido por Radio, el NI-USRP-2920 y el software LabVIEW, ambos de la National Instruments.

Este proyecto está enfocado en convertirse en una herramienta de aprendizaje para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica, de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

El objetivo principal de la aplicación es recibir y analizar las señales ISDB-Tb que emiten los canales de televisión abierta para su futura comparación.

En el Capítulo 1 se detallan los hechos preliminares como: planteamiento del problema, metodología, técnicas, impacto del proyecto para los estudiantes beneficiados.

En el Capítulo 2 se describen los conceptos generales, descripción y características de los elementos que conforman el NI-USRP y el software LabVIEW.

En el Capítulo 3 se elabora el análisis y diseño del proyecto, descripción paso a paso de las interfaces realizadas en LabVIEW.

En el Capítulo 4 se presentan las pruebas realizadas, las conclusiones y recomendaciones.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad la televisión analógica está siendo reemplazada por la digital. En el país ciertas televisoras ya están transmitiendo en esta tecnología (TC televisión, Teleamazonas, Ecuador TV, etc.) Los canales deben reconocer si la señal que transmiten cuenta con la calidad adecuada para el televidente.

Los parámetros para determinar el nivel de calidad de la televisión digital que se ofrece, deben ser medidos por equipos especializados en el Estándar ISDB-Tb que normalmente tienen costos muy elevados, al ser estas grandes televisoras pueden acceder a la compra de dichos dispositivos. En un ámbito educativo no se cuenta con los recursos necesarios para que los estudiantes puedan realizar pruebas o prácticas de dicha tecnología; por esta razón, este proyecto es una forma de contribuir en el aprendizaje y sobre todo en el entendimiento de los conceptos que deben aplicarse en televisión digital.

Con el fin de proveer un sistema de análisis y monitoreo del Estándar ISDB-Tb que sea asequible, se busca elaborar algoritmos para la medición de los parámetros de Televisión Digital Terrestre por medio de un software (LabVIEW) y un radio definido por software (USRP - Universal Software Radio Peripheral)

## **1.2 Delimitación del Problema**

El proyecto será desarrollado para el laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil como módulo de aprendizaje e investigación.

Se empleará un radio definido por software, el transceptor USRP 2920 de la National Instruments, una computadora y la respectiva antena de recepción. Además, se realizarán las interfaces en el software LabVIEW para la muestra de los datos y gráficas correspondientes.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Diseñar un algoritmo para el análisis y monitoreo del estándar de ISDB-Tb de Televisión Digital Terrestre que se está implementando en el Ecuador usando la plataforma USRP y el software LabVIEW.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Diseñar y programar un analizador de señales ISDB-Tb que mida los siguientes parámetros: Frecuencia de TX, Potencia de TX, P.E.R, Nivel de intensidad de campo, MER, BER y Ancho de Banda de enlace.
- Desarrollar prácticas TDT para laboratorio de telecomunicaciones con la finalidad de ofrecer una herramienta para prácticas a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica.
- Analizar mediante el USRP, las señales de transmisión ISDB-Tb de las televisoras.
- Comparar las calidades de señales de Televisión Digital de los diferentes canales de televisión abierta.

#### **1.4 Justificación**

La Televisión Digital Terrestre (TDT) es una tecnología de nueva implementación en el país y la Agencia de Control y Regulación de las Telecomunicaciones – ARCOTEL se encarga de la regulación y análisis de sus señales, mediante el uso de varios equipos.

Este proyecto tiene como fin ofrecer una plataforma de pruebas para el análisis y verificación de calidad de las señales ISDB-Tb de Televisión Digital que se ofrece al público.

En lo académico, la aplicación didáctica que incluye este proyecto brindará orientación, capacitación y aprendizaje a los estudiantes; enfocándose en los parámetros que establece la ARCOTEL para la definición de la calidad de las señales TDT como: Frecuencia de Transmisión, Potencia de Transmisión, PER, Nivel de Intensidad de Campo, MER, BER, Ancho de Banda del Enlace.

Adicionalmente, se busca reforzar y mejorar la comprensión de los protocolos, modulaciones/demodulaciones, conversiones y demás procedimientos que utiliza el Estándar ISDB-Tb.

#### **1.5 Hipótesis**

Mediante el diseño del algoritmo de esta aplicación, los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil podrán realizar pruebas en las cuales plasmarán sus conocimientos sobre Propagación, Antena, Redes y Telecomunicaciones Inalámbricas, mediante la medición de parámetros y verificación de los niveles de calidad que indica la Superintendencia de Telecomunicaciones en esta nueva tecnología.

## **1.6 Variables e Indicadores**

### **Variable Dependiente.- Desde la propuesta:**

Diseñar un algoritmo para la medición de niveles de calidad de Televisión Digital Terrestre bajo el Estándar ISDB-Tb.

### **Variable Independiente.- Desde el problema:**

En los diferentes sectores de la ciudad que posean televisores digitales o codificadores que receptan este tipo de señal se podrá medir los parámetros de control de calidad que exige la Superintendencia de Telecomunicaciones.

## **1.7 Metodología**

### **1.7.1 Métodos**

Para el desarrollo de esta investigación se han sido utilizados dos métodos:

#### **Método experimental**

Se empleó el método experimental al realizar las pruebas de recepción de la señal, mediante el equipo NI-USRP 2920, con el fin de procesar las mediciones de los parámetros de Televisión Digital Terrestre y determinar su nivel de calidad

#### **Método deductivo**

Después de haber efectuado un estudio previo tanto en conceptos como en análisis matemático de las teorías que abarcan las telecomunicaciones, se realiza un algoritmo de recepción de señal en el cual se incluyen los parámetros necesarios para la determinación de los niveles de calidad del Estándar ISDB-Tb

## **1.7.2 Técnicas**

Las técnicas que fueron utilizadas durante el desarrollo de la tesis son las siguientes:

### **Técnica de campo**

Mediante el uso del USRP 2920 para la recepción y medición de los diferentes parámetros requeridos.

### **Técnica documental**

Por medio de la recolección de información de diferente bibliografía y fuentes, para contribuir a los conceptos básicos de telecomunicaciones, antenas, propagación, redes inalámbricas, LabVIEW e instrumentación virtual. Así como de regulaciones para establecer el nivel de calidad del servicio de Televisión Digital receptado.

## **1.7.3 Instrumentos de Investigación y Recolección de Datos**

Para el correcto funcionamiento del proyecto se utilizaron algunos instrumentos que nos ayudaron en la definición de los valores adecuados, constatando así la parte investigativa y el cumplimiento efectivo del esquema.

Los instrumentos manejados para la recolección de datos, que aportaron enormemente a esta investigación, fueron los siguientes:

- Entrevista a canales de televisión.
- Tabla de canales que transmiten en Televisión Digital Terrestre.

Para los datos técnicos aprovechados fueron los siguientes:

- Tabla de frecuencias que soporta el equipo NI-USRP y en las cuales trabaja el Estándar ISDB-Tb.

## **1.8 Población y Muestra**

La investigación es de utilidad para el reforzamiento del aprendizaje de los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, de la carrera de Ingeniería Electrónica.

## **1.9 Descripción de la Propuesta**

Diseñar un algoritmo cuyo fin será el de medir los principales parámetros para el análisis de la señal de Televisión Digital Terrestre, de acuerdo a las normas y regulaciones establecidas por la Agencia de Control y Regulación de las Telecomunicaciones, mediante el USRP 2920 y el software LabVIEW, ambos de National Instruments.

El algoritmo desarrollado les permitirá a los estudiantes observar, analizar y comprender mediante la práctica, como se realiza la recepción de señales RF, los diagramas que éstos presentan, tipos de modulaciones/demodulaciones, etc., asimilando con mayor facilidad las teorías generales de telecomunicaciones. Además de demostrar el tipo de aplicaciones que se pueden implementar con el USRP y el software LabVIEW, en el área de las telecomunicaciones.

## **1.10 Beneficiarios**

Después de haber realizado las pruebas pertinentes y obtener los resultados debidos, de acuerdo a la investigación sobre Televisión Digital Terrestre, el proyecto apunta a ser una herramienta para los estudiantes y docentes de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, de la carrera de Ingeniería Electrónica.

Luego de la presentación del proyecto se da carta abierta a la posibilidad de continuar con el progreso de nuevas aplicaciones, tanto en el software como en el hardware utilizado en el sistema: USRP, LabVIEW, antenas, etc., en la materia de telecomunicaciones.

### **1.11 Impacto**

El presente proyecto impulsará la realización de nuevas investigaciones en el área de las telecomunicaciones empleando la tecnología de radio definido por software como el USRP, en conjunto con un software de desarrollo como lo es LabVIEW.

Es un importante para los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil contar con este tipo de material didáctico, ya que facilita la comprensión de los conceptos tratados en clases, mejorando el nivel académico de la institución.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes**

La televisión digital tiene sus comienzos en el año 1982 cuando se desarrolló el estándar CCIR-601 (actualmente ITU-601), el cual fue el primer estándar internacional de Codificación de Televisión Digital para Estudio. Seguidamente se desarrollaron más estándares que han complementado y ampliado al ITU-601.

En el transcurso de todo este tiempo la tecnología digital ha ido avanzando a pasos acelerados hasta llegar a tener desde hace varios años, canales de televisión y productoras completamente digitales. Hoy en día es posible equipar una planta en su totalidad con equipos digitales, sin embargo a pesar de tener estudios digitalizados, era necesario convertir estas señales a análogas antes de ser transmitidas debido a que se torna imposible transmitir una señal digital sin compresión en el espectro actual de 6 MHz que ocupa un canal en América en general y 7 u 8 MHz en Europa. La televisión digital permite digitalizar estas señales y comprimir las, con lo cual el transporte de las señales hasta el usuario final (telespectador) se realiza de manera más segura frente a las interferencias del espectro radioeléctrico y contando con una calidad considerablemente mejorada.

La televisión digital, es un sistema digital donde la señal de audio y video, es transmitida a los usuarios, ya sea por aire, cable o satélite, con una alta resolución. Mejorando notablemente la calidad de imagen (sin interferencias, doble imagen o visión borrosa) y ofreciendo un mejor audio estéreo, así como también mayor cantidad de canales.

## **2.2 Televisión Digital Terrestre**

### **2.2.1 Definición**

La transmisión de señales digitales es un nuevo servicio que ofrece la televisión y representa el desarrollo más significativo que se ha dado en este campo de la tecnología desde la llegada de la televisión a color. Es una nueva técnica de radiodifusión de señales que consiste en convertir la imagen, el sonido, y los contenidos interactivos en información digital, es decir, la información no es enviada en forma de ondas que precisan grandes anchos de banda como ocurre con la analógica, sino que la envía como ceros y unos (codificación binaria), aprovechando así los beneficios del procesamiento, multiplexación, codificación y modulación digital de las señales tanto de audio, vídeo y datos, con el único fin de optimizar la transmisión de las señales de televisión.

Básicamente, la TDT es la transmisión y recepción de imágenes en movimiento y el sonido asociado a través de señales digitales (código binario) mediante una red de estaciones repetidoras terrestres.

### **2.2.2 Características**

La TDT cuenta con una gran variedad de características, pero entre las más importantes podemos mencionar las siguientes: la capacidad de transmisión de imágenes en alta definición; Sonidos en Surround Sound 5.1; Transmisión múltiple de canales (“multicasting”); transmisión de datos a alta velocidad; y la imagen en pantalla más ancha. DTV puede brindar la calidad de imagen y sonido comparado a la que se encuentra en las salas de cine, una pantalla ancha, una mejor entrega de colores, múltiples programas o un solo programa en alta definición (HDTV), y otros nuevos servicios que actualmente se están desarrollando.



**Figura 1 Ventajas de la TDT**

Fuente: Cuando el futuro nos alcance: *La Televisión Digital en América Latina*, Mediatelecom Policy & Law. Junio del 2013.

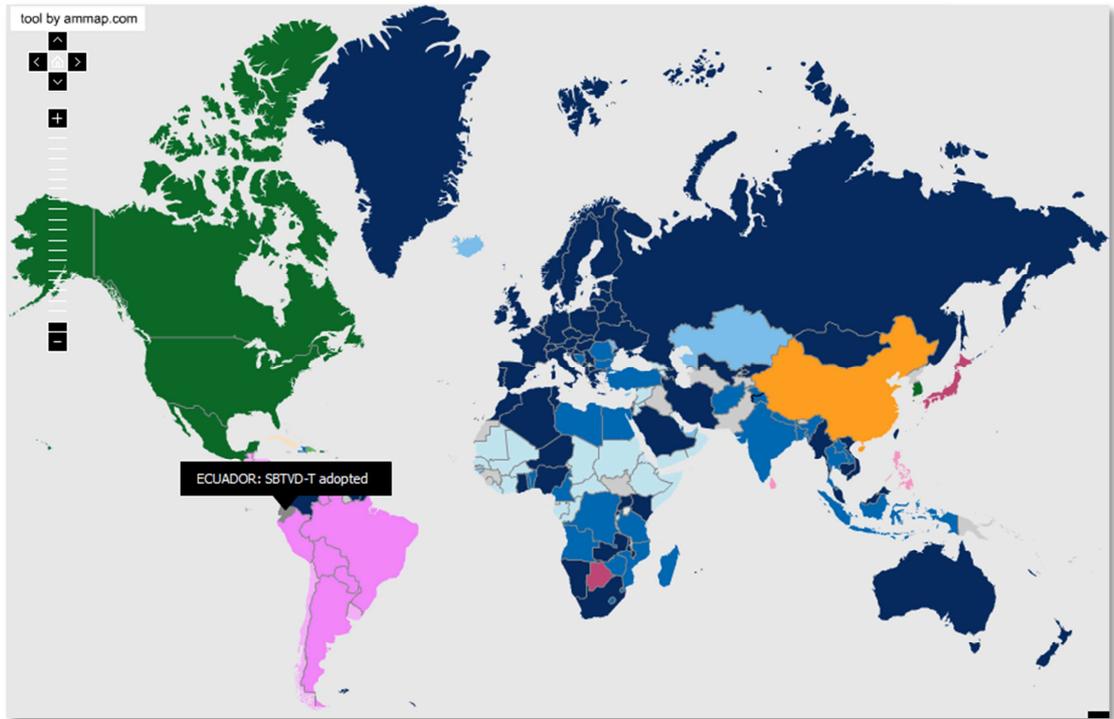
Recuperado de <http://www.mediatelecom.com.mx/~mediacom/media/pdf/cuando%20el%20futuro%20nos%20alcance.pdf>

### 2.2.3 Estándares de Televisión Digital

Existen cuatro estándares de televisión digital que están siendo aplicados en diferentes regiones del mundo.

- Estándar Americano, ATSC (Advanced Television Systems Committee).
- Estándar Europeo, DVB (Digital Video Broadcasting).
- Estándar Japonés, ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting).
- Estándar Chino, DTMB (Digital Terrestrial / Television Multimedia Broadcasting).

En el Anexo 1 detallamos un cuadro comparativo de los estándares de televisión digital.



**Figura 2 Mapa de distribución de los estándares de Television Digital**

Fuente: DTVSTATUS

Recuperado de <http://es.dtvstatus.net/>

Descripción	
Sistema	Explicación
DVB-T/DVB-T2	La transmisión mediante DVB-T/DVB-T2 ya se ha puesto en práctica.
DVB-T/DVB-T2 adoptado	Países que se han decidido por el sistema DVB-T/DVB-T2.
DVB-T/DVB-T2 en prueba	En estos países, el estándar DVB-T/DVB-T2 está en período de prueba.
RRC06	Los países señalados participan en la Conferencia Regional de Radiocomunicaciones 2006 de la ITU (International Telecommunication Union). Se presupone que todos los países participantes se decidirán por el sistema DVB-T/DVB-T2 cuando pasen de la transmisión analógica de televisión a la digital.
ATSC	La transmisión mediante el sistema ATSC ya se ha puesto en práctica.
ATSC adoptado	Países que se han decidido por el sistema ATSC.
ATSC en prueba	En estos países, el estándar ATSC está en período de prueba.
ISDB-T	La transmisión mediante ISDB-T ya se ha puesto en práctica.
ISDB-T adoptado	Países que se han decidido por el sistema ISDB-T.
ISDB-T en prueba	En estos países, el estándar ISDB-T está en período de prueba.
SBTVD-T	La transmisión mediante SBTVD-T ya se ha puesto en práctica.
SBTVD-T adoptado	Países que se han decidido por el sistema SBTVD-T.
DTMB	La transmisión mediante DTMB ya se ha puesto en práctica.
DTMB adoptado	Países que se han decidido por el sistema DTMB.
DTMB en prueba	En estos países, el estándar DTMB está en período de prueba.
Servicio comercial del DVB-T	Ninguna adopción formal de un estándar de TDT.
	Países que aún no se han decidido.

**Figura 3 Distribución de los estándares de Televisión Digital**

Fuente: DTVSTATUS

Recuperado de <http://es.dtvstatus.net/>

## 2.2.4 Televisión Digital en Latinoamérica

Luego de que estudios revelaran con claridad los beneficios de destinar mayor cantidad de espectro electromagnético para banda ancha, los países de América Latina han colocado en sus agendas la necesidad de avanzar en el proceso de digitalización de las señales radiodifundidas abiertas de televisión, con el objetivo de liberar espectro radioeléctrico para servicios de banda ancha móvil.

Uno de los principales retos del proceso de digitalización de la televisión es la inclusión de la ciudadanía en dicho proceso. Al considerar los niveles de pobreza, 28.8 por ciento de la población de la región, según datos de la CEPAL, así como las bajas tasas de penetración de TV paga en comparación con países desarrollados, es necesaria la activa participación de los gobiernos para evitar que cualquier usuario termine sin acceso a este importante medio de información y entretenimiento, ya sea

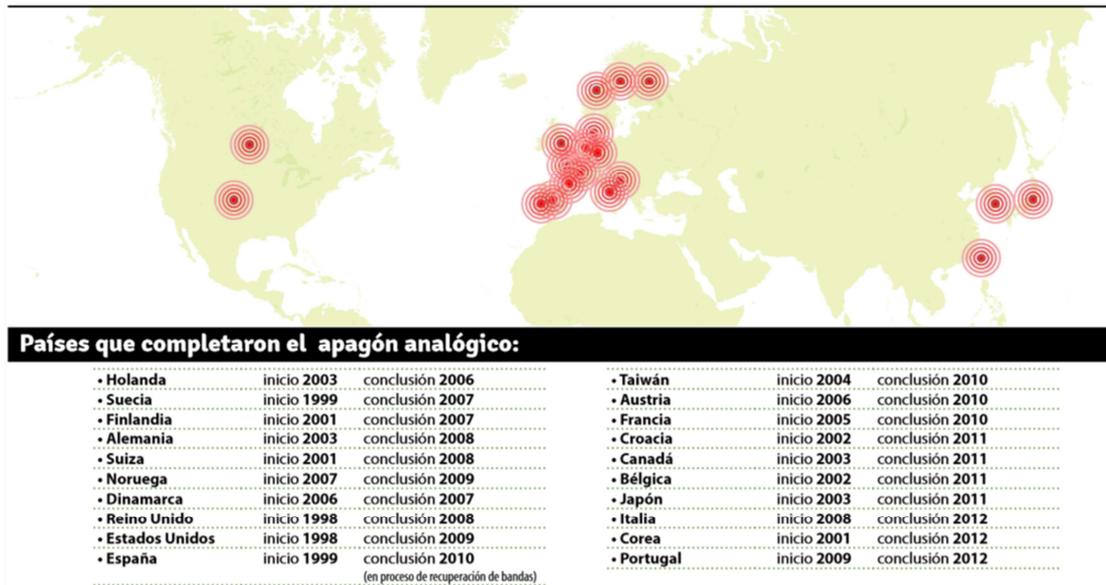
a través de la comunicación sobre el avance del proceso y subsidios directos para la adquisición de receptores de señales de televisión abierta (set-top boxes).

En la región surgió la combinación de la combinación de distintos estándares tecnológicos. México adoptó el estándar estadounidense A/53 ATSC dada su cercanía con este país y las implicaciones sociales, geográficas y comerciales. En el caso de México, son precisamente sus ciudades fronterizas con Estados Unidos las que cuentan con mayor penetración de receptores digitales. Otros países adheridos al estándar ATSC (el cual técnicamente permite mayor calidad de imagen de alta definición) son Honduras, El Salvador y República Dominicana.

Por su parte, Colombia y Panamá optaron por el estándar europeo DVB-T, siendo los únicos países de la región con esta tecnología que técnicamente favorece la canalización y diversidad de señales a través del proceso de multiplexación. El resto de los países de la región (Uruguay, Argentina, Venezuela, Bolivia, Perú, Costa Rica) adoptaron el estándar japonés ISDB-T, impulsado principalmente por Brasil; quién creó una variación propia del estándar para su uso específico en la región: ISDB-Tb. Este protocolo privilegia la recepción de señales de televisión abierta a través de dispositivos móviles.

El proceso de digitalización de las señales radiodifundidas de televisión abierta viene enmarcada en un contexto de cambios de hábitos de consumo por parte de los usuarios, quienes se enfrentarán a una mayor variedad de opciones para el acceso a contenido audiovisual, principalmente a través de dispositivos inalámbricos con conectividad a banda ancha móvil.

A continuación presentamos los países que han completado su proceso de “apagón analógico” (digitalización completa de señales radiodifundidas) y de transición a la TDT, así como las naciones que se encuentran en el mismo proceso.



#### Figura 4 Países que completaron el apagón analógico

Fuente: Cuando el futuro nos alcance: *La Televisión Digital en América Latina*, Mediatelecom Policy & Law. Junio del 2013.

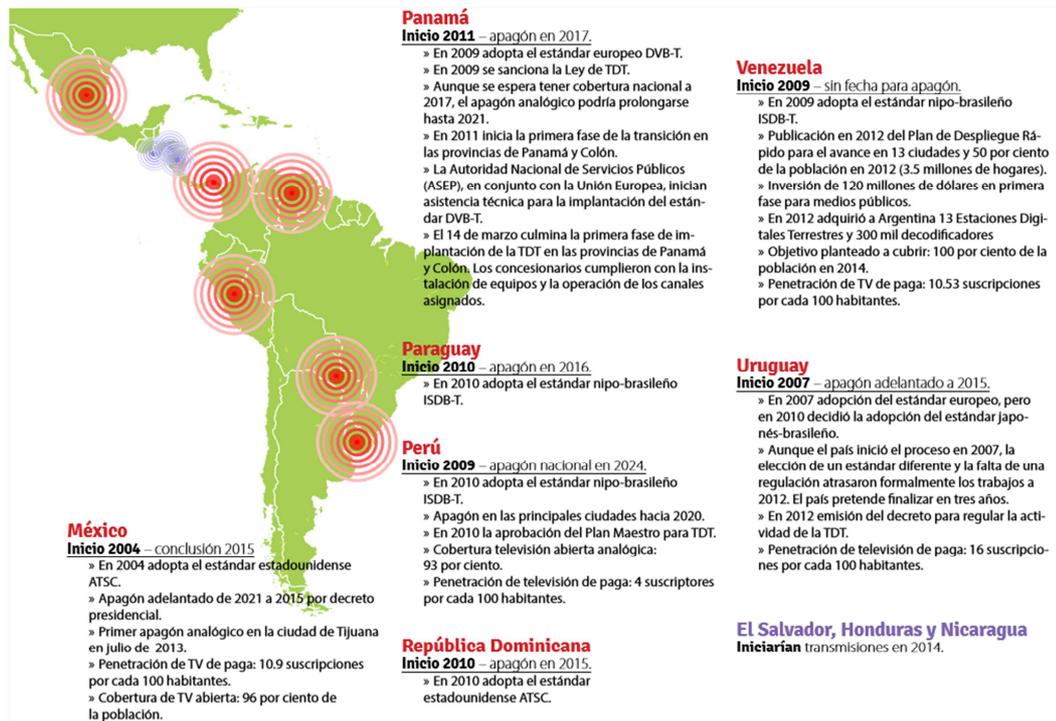
Recuperado de <http://www.mediatelecom.com.mx/~mediacom/media/pdf/cuando%20el%20futuro%20nos%20alcance.pdf>



**Figura 5 Países en proceso de digitalización**

Fuente: Cuando el futuro nos alcance: *La Televisión Digital en América Latina*, Mediatelecom Policy & Law. Junio del 2013.

Recuperado de <http://www.mediatelecom.com.mx/~mediacom/media/pdf/cuando%20el%20futuro%20nos%20alcance.pdf>



**Figura 6 Países en proceso de digitalización**

Fuente: Cuando el futuro nos alcance: *La Televisión Digital en América Latina*, Mediatelecom Policy & Law. Junio del 2013.

Recuperado de <http://www.mediatelecom.com.mx/~mediacom/media/pdf/cuando%20el%20futuro%20nos%20alcance.pdf>

### 2.2.5 Organización del Espectro Radioeléctrico

Primero se parte de la premisa que un canal de TV Digital va a utilizar un canal de 6MHz, el mismo ancho de banda que utilizan los canales de TV Analógica. Se tomó esta decisión para evitar problemas al momento de dividir nuevamente el espectro radioeléctrico.

Por otro lado, si ya se empieza hablar sobre la división del ancho de banda en varios canales se tiene que tomar en cuenta que no es posible utilizar todo el ancho de banda asignado para la transmisión, por lo que es necesario dejar ciertos márgenes, que se conocen como bandas de guarda, por encima y por debajo de los límites del canal para evitar posibles interferencias con los canales adyacentes.

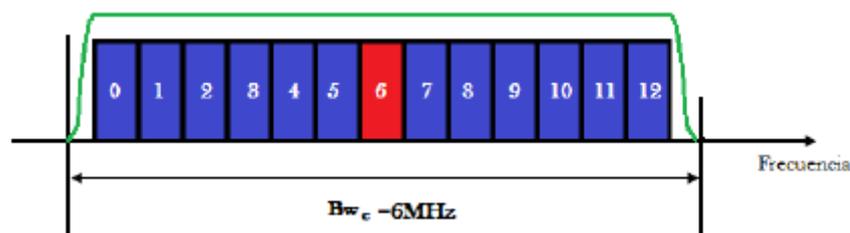
Entonces si el canal tiene un ancho de banda de 6MHz se debe poner dos bandas de guarda de 200kHz. En total tenemos un ancho de banda de 400kHz que no podrá ser utilizado para la transmisión de datos. A partir de ahí se decide dividir al canal en segmentos de unos 400kHz aproximadamente, por lo cual si dividimos lo 6MHz para 400kHz se obtiene que tenemos 15 segmentos disponibles de 400kHz.

Entonces como 400kHz van a ser utilizados para las bandas de guarda, se tienen 14 segmentos disponibles de 400kHz para el servicio. Una de las características fundamentales del estándar ISDB-Tb es la posibilidad de ofrecer un servicio de banda angosta que utiliza un solo segmento (conocido como servicio one-seg) y que debe ocupar el centro de la banda para que el receptor pueda sintonizarlo fácilmente y exista el menor consumo de energía posible.

Entonces si deseamos que exista un segmento en la mitad de la banda debería existir la misma cantidad de segmentos a la derecha y a la izquierda del mismo, por lo cual se decidió dividir a la banda en 14 segmentos en lugar de 15, donde uno de ellos estaría reservado para las bandas de guarda. Entonces se tiene que el ancho de banda de cada segmento sería:

$$Bw_s = \frac{Bw_c}{14} = \frac{6000kHz}{14} = 428,57kHz$$

Finalmente el estándar ISDB-Tb nos ofrece una banda con 13 segmentos de 428,57 kHz para los diferentes tipos de servicios que se pueden ofrecer.



**Figura 7 Organización del canal en segmentos**  
Fuente: ISDB-T Reporte Técnico, ANEXO-AA.

### **2.3 Estándar ISDB-T**

ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting) o Radiodifusión Digital de Servicios Integrados es un conjunto de normas para las transmisiones de radio digital y televisión digital, es el estándar internacional de televisión digital terrestre más avanzado que existe actualmente.

Está conformado por una familia de componentes. La más conocida es la de televisión digital terrestre (ISDB-T e ISDB-Tb) pero también lo conforman la televisión satelital (ISDB-S), la televisión por cable (ISDB-C), servicios multimedia (ISDB-Tmm) y radio digital (ISDB-Tsb), todos ellos desarrollados con la finalidad de ofrecer flexibilidad, capacidad de expansión y difusión de los servicios de transmisión de multimedia, cada uno empleando las redes respectivas.

El estándar ISDB-T tiene su origen en Japón y su desarrollo comienza en la última parte de la década de 1990, bastante tiempo después de que surgieran el DVB-T europeo y el ATSC norteamericano, lo que supone una gran ventaja, pues ya se contaban con experiencias concretas y se conocían las fortalezas y debilidades de cada uno. Posiblemente, la principal decisión que se haya tomado durante la fase de estudios previos sea haber elegido un sistema multi-portadora. Por fin en 1990 ISDB-T se consagra como estándar japonés de televisión digital.

ISDB-T posee la capacidad de proporcionar servicios de HDTV o servicios multi-programa en un ancho de banda de canal de 6 MHz, además presenta una gran robustez frente a pérdidas ocasionadas por multi-trayecto e interferencia, con lo cual se garantiza una excelente recepción tanto portátil como móvil.

Los siguientes requerimientos han sido considerados durante el desarrollo de ISDB-Tb. Debería:

- ser capaz de proveer una variedad de servicios de video, sonido y datos,
- ser suficientemente robusto ante cualquier interferencia multi-trayectoria y pérdida de intensidad encontrada durante recepción portátil o móvil,
- tener receptores separados dedicados a la televisión, sonido y datos, así como receptores completamente integrados,

- ser suficientemente flexible para acomodar diferentes configuraciones de servicios y asegurar flexibilidad en el uso de capacidad de transmisión,
- abarcar un área suficientemente amplia para asegurar la satisfacción de requerimientos futuros,
- acomodar redes de frecuencia única (SFN),
- usar frecuencias vacantes efectivamente, y
- ser compatible con servicios análogos existentes y otros servicios digitales

Para satisfacer todos los requerimientos, la ISDB-T ha utilizado una serie de herramientas únicas tales como el sistema de modulación OFDM asociado con la segmentación de bandas, que le da al sistema un gran flexibilidad y la posibilidad de transmisión jerárquica, tiempo, intercalación que contribuye a alcanzar la robustez requerida por la recepción móvil y portátil dándole además una poderosa robustez al sistema contra ruidos impulsivos y Control de Configuración de Multiplexación y Transmisión (TMCC) que permite un cambio dinámico de los parámetros de transmisión para ajustar el sistema para un rendimiento optimizado dependiendo del tipo de transmisión (televisor de alta definición, recepción móvil, etc.)

Brasil, en el año 2008, como motor de impulso regional tomo la iniciativa de adoptar el ISDB-T como estándar; pero con algunas modificaciones mediante, entre las que se destacaba el uso de MPEG-4 para la compresión de datos. Estos desarrollos, llevados a cabo en colaboración con Japón, dan origen al estándar internacional denominado ISDB-Tb. El número de países que han adoptado este estándar está creciendo gradualmente debido a la ventaja tecnológica y los amplios servicios que ofrece. Los países que han optado por este sistema y lo tienen en marcha son: Perú, Venezuela, Chile, Argentina y Ecuador.

**Tabla 1 Especificaciones del estándar ISDB-T**

Transmisión / codificación del canal	Modulación	664QAM-OFDM 16QAM-OFDM QPSK-OFDM DQPSK-OFDM (Transmisión Jerárquica)	
	Codificación de corrección de errores	Codificación interna, Convolución 7/8,3/4,2/3,1/2 Codificación externa: RS(204,188)	
	Intervalo de protección	1/16,1/8,1/4	
	Interpolación	Tiempo, Frecuencia, bit, byte	
	Dominio de la frecuencia multiplexación	BST-OFDM (Estructura segmentada de OFDM)	
Acceso condicional		Multi-2	
Transmisión de datos		ARIB STD B-24 (BML, ECMA script)	
Información de servicio		ARIB STD B-10	
Multiplexación		Sistemas MPEG-2	
Codificación de Audio		MPEG-2 Audio (AAC)	
Codificación de video		MPEG-2 Video	MPEG-4 AVC /H.264*

Fuente: TV Digital Terrestre.

### 2.3.1 Estándar ISDB-Tb

SBTVD es también conocido como ISDB-Tb (versión brasileña del estándar japonés ISDB-T) o ISBD-T Internacional, difiere básicamente del estándar original ISDB-T por el uso de H.264/MPEG-4 AVC como estándar de compresión de vídeo (ISDB-T usa el estándar H.262/MPEG-2 Parte 2), una velocidad de presentación de 30 imágenes por segundo, aún en dispositivos portátiles e interacción mediante el uso del middleware Ginga, compuesto de los módulos Ginga-NCL y Ginga-J. El ISDB-Tb es un sistema de la familia ISBDB-T y, por lo tanto, tienen las mismas características.

**Tabla 2 Especificaciones del estándar ISDB-Tb**

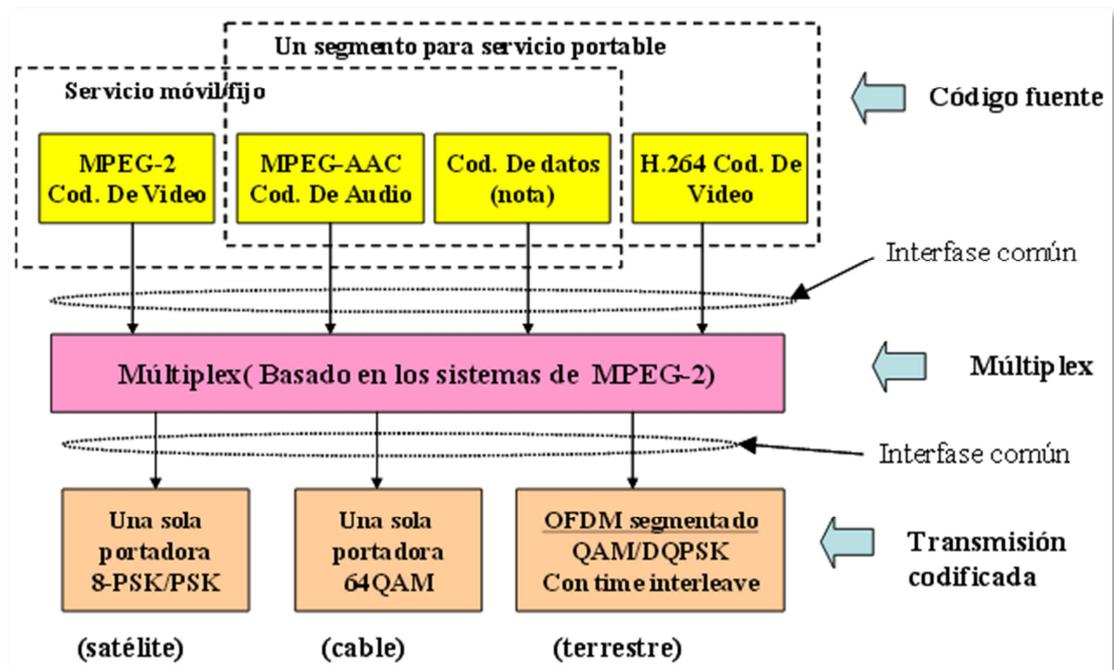
Transmisión / codificación del canal	Modulación	664QAM-OFDM 16QAM-OFDM QPSK-OFDM DQPSK-OFDM (Transmisión Jerárquica)
	Codificación de corrección de errores	Codificación Interna: Convolución 7/8,3/4,2/3,1/2 Codificación Externa: RS(204,188)
	Intervalo de protección	1/16, 1/8, 1/4
	Interpolación	Tiempo, Frecuencia, bit, byte
	Dominio de la frecuencia multiplexación	BST-OFDM (Estructura segmentada de OFDM)
Acceso condicional		Multi-2
Middleware		Ginga-NCL y Ginga-J
Información de servicio		ARIB STD B-10
Multiplexación		Sistemas MPEG-2
Codificación de Audio	Fijo/ Móvil	Estéreo: MPEG-4 AAC@L2 o MPEG-4 HE-AAC v1@L2 Audio Multicanal 5.1: MPEG-4 AAC@L4 o MPEG-4 HE-AAC v1@L4
	Portátil	Solo Estéreo: MPEG-4 HE-AAC v2@L2
Codificación de Audio	Fijo/ Móvil	MPEG-4 AVC (H.264) HP@L4
	Portátil	MPEG-4 AVC (H.264) <a href="#">BP@L1.3</a>

Fuente: TV Digital Terrestre.

### 2.3.2 Estructura del ISDB-T

Un sistema de transmisión digital consta de tres bloques:

- Bloque de código fuente.
- Bloque de multiplexación.
- Bloque de transmisión.



**Figura 8 Estructura del sistema de transmisión digital (ISDB-T Japonés)**

Fuente: Reporte técnico de ARIB, Dibeg.org

Recuperado de [http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t\\_Spanish.pdf](http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t_Spanish.pdf)

### 2.3.2.1 Bloque de código fuente

Se refiere al conjunto de bits correspondientes a la información original de audio, video y datos BML (Broadcast Markup Language, lenguaje para el desarrollo de aplicaciones multimedia) además de los datos auxiliares, que se refieren a los bits de control o datos asociados con programas de audio y video, así como los servicios de interactividad.

### 2.3.2.2 Bloque de multiplexación

En esta etapa se presentan los métodos para dividir el flujo de datos digitales en paquetes de información. Además, se refiere a las maneras de identificar cada paquete y a la multiplexación que en el caso de ISDB-T hace uso del MPEG-2.

### **2.3.2.3 Bloque de transmisión**

En el bloque de transmisión se da lugar a la codificación del canal, en la que se introducen códigos de protección contra errores, códigos de cifrado de información y se adecua la señal para ser finalmente transportada por el canal de transmisión. Aquí se realiza la modulación de portadoras para la transmisión de la señal.

### **2.3.3 Ventajas del ISDB-T**

#### **2.3.3.1 Alta calidad/ flexibilidad del servicio.**

En ISDB-T se han adoptado las siguientes tecnologías:

- Tecnología multiplex flexible (sistema MPEG 2)
- Sistema de codificación de video/audio flexible y de alta eficiencia (MPEG 2 y MPEG AAC)

Como resultado, son posibles en un estándar muchas clases de servicio de transmisión tales como: HDTV, HDTV + SDTV, Multicanales SDTV.

#### **2.3.3.1.1 Alta calidad**

Hace aproximadamente 30 años, Japón comenzó con la investigación y desarrollo de la HDTV, y es líder mundial en hardware/software de esta tecnología. Debido a estos antecedentes, la Alta Calidad es el requerimiento más importante para un sistema de transmisión digital.

Japón adoptó el sistema de compresión MPEG2 para HDTV/SDTV, por lo que ambos sistemas son soportados en la transmisión digital.

### 2.3.3.1.2 Flexibilidad del servicio

En el sistema ISDB-T, la flexibilidad del servicio se realiza por medio de dos técnicas descritas a continuación.

#### 2.3.3.1.2.1 MPEG-2 y MPEG-AAC.

Para el sistema de codificación de video, se adopta la tecnología MPEG-2, la cual soporta varios tipos de calidad de video/formatos.

**Tabla 3 Calidad/ Formato adoptado en la transmisión digital.**

Numero de líneas		525	525	750	1125
Numero de líneas activas		483	483	720	1080
Barrido		Entrelazado	Progresivo	Progresivo	Entrelazado
Frecuencia de cuadro		30/1.001 Hz	60/1.001 Hz	60/1.001 Hz	30/1.001 Hz
Frecuencia de campo		60/1.001 Hz			60/1.001 Hz
Relación de aspecto		16:9 o 4:3	16:9	16:9	16:9
Frecuencia de línea fh		15.750/1.001 kHz	31.500/1.001 kHz	45.000/1.001 kHz	33.750/1.001 kHz
Frecuencia de muestreo	Luminancia	13.5 MHz	27 MHz	74.25/1.001 MHz	74.25/1.001MHz
	Diferencia de color	6.75 MHz	13.5 MHz	37.125/1.001 MHz	74.25/1.001MHz
Numero de muestras por línea	Luminancia	858	858	1650	2200
	Diferencia de color	429	429	825	1100
Numero de muestras por línea activa	Luminancia	720	720	1280	1920
	Diferencia de color	360	360	640	960

Fuente: Reporte técnico de ARIB, Dibeg.org

Recuperado de [http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t\\_Spanish.pdf](http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t_Spanish.pdf)

Para el sistema de audio se adopta el MPEG-AAC, sistema de alta compresión y calidad en codificación de audio, soporta varios tipos de audio calidad/formato mostrados en la siguiente tabla.

**Tabla 4 Audio Calidad/ formato adoptado en la transmisión digital**

Parámetro	Restricciones
Modo de audio Modos posibles de audio	Monoaural, stereo, multicanal stereo (3/0, 2/1, 3/1, 2/2, 3/2, 3/2+LFE) <sup>(Nota 1)</sup> , 2-señales de audio (dual monoaural), multi-audio (3 o mas señales de audio) y combinaciones de lo anterior.
Modo de audio recomendado	Monoaural, stereo, multicanal stereo (3/1, 3/2, 3/2+LFE) <sup>(Nota 2)</sup> , 2-audio señales (dual monoaural)
Énfasis	Ninguna

(Nota 1) Numero de canales frontales y traseros (Bocinas):	Ejemplo: 3/1 = 3 frontales + 1 trasero 3/2 = 3 frontales y 2 traseros
(Nota 2) LFE = Low frequency enhancement channel	Canal de enlace de baja frecuencia

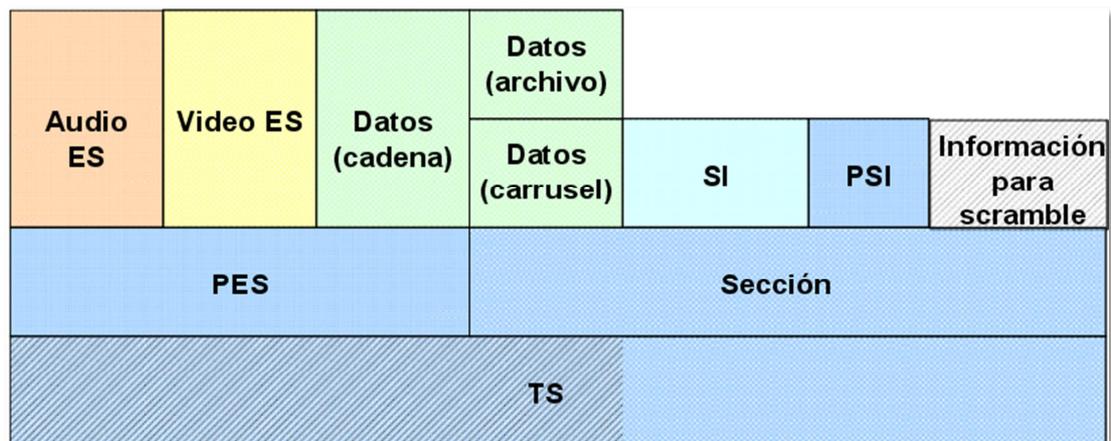
Fuente: Reporte técnico de ARIB, Dibeg.org  
Recuperado de [http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t\\_Spanish.pdf](http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t_Spanish.pdf)

Los receptores para la transmisión digital deben de cumplir con la especificación de decodificar cualquier tipo de video/audio calidad/formato descritos en la tabla 2.4 y en la tabla 2.5.

#### **2.3.3.1.2.2 MPEG-2 Sistemas para Multiplex.**

ISDB-T adopto el sistema MPEG-2 como tecnología multiplex. En MPEG-2, todos los contenidos transmitidos, video/ audio/ datos son multiplexados en un paquete denominado Flujo de transporte (Transport Stream).

Como se muestra en la figura 9, los contenidos de flujo (video, audio y flujo de datos) son convertidos al formato PES o Paquete de Flujo Elemental (Packet Elementary Stream) y finalmente son convertidos al TS y multiplexados; los contenidos que no son del tipo de flujo de datos son convertidos al formato de Sección y finalmente convertidos al formato TS y multiplexados.



**Figura 9 Formato Multiplexado en el sistema ISDB-T.**

Fuente: Reporte técnico de ARIB, Dibeg.org

Recuperado de [http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t\\_Spanish.pdf](http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t_Spanish.pdf)

### 2.3.3.2 Robustez/ flexibilidad de recepción.

Para dar robustez contra los factores de degradación de la banda VHF/UHF, tales como, el ruido térmico, interferencia multi path, ruido urbano, desvanecimiento en la recepción móvil, portátil y otros, ISDB-T adoptó el sistema de transmisión OFDM con la tecnología de “Time Interleave”.

Como resultado, ISDB-T proporciona las siguientes características comparadas con otros sistemas de DTTB: menor potencia de transmisión, posibilidad de usar antenas de recepción internas, servicios de recepción móvil/ portátil, etc.

### 2.3.3.3 Utilización efectiva del recurso de frecuencias.

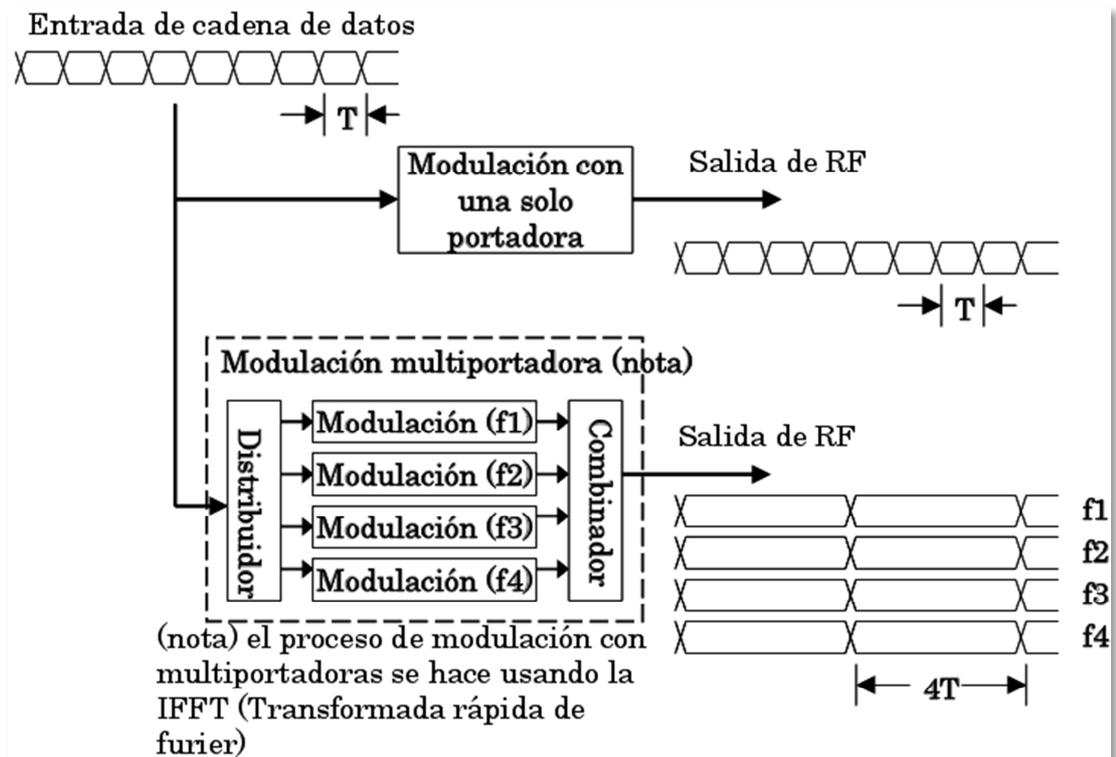
Adoptando el sistema de transmisión OFDM, es posible la construcción de una red de Isofrecuencia (SFN), resultando en la reducción de frecuencias para transmisores de relevo (repetidores). Además, usando la misma frecuencia para muchos transmisores de la misma red, no es necesario cambiar el canal de recepción de los receptores móviles/ portátiles.

### 2.3.3.3.1 Tecnología de transmisión OFDM (robustez en contra de multi-path, SFN red isofrecuencia)

La tecnología OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex), es un sistema de transmisión de multi-portadoras, en el que los datos digitales son divididos en múltiples portadoras y enviados. Como resultado, la longitud del símbolo de transmisión es mayor a la de un sistema de transmisión de una sola portadora.

Si el símbolo de transmisión posee una mayor longitud, se presentara menos degradación por la Interferencia Inter Símbolo (ICI), causada por la interferencia multi-path, conocida también como “interferencia fantasma”.

A continuación se muestra la diferencia entre un sistema multi-portadora y de una sola portadora.



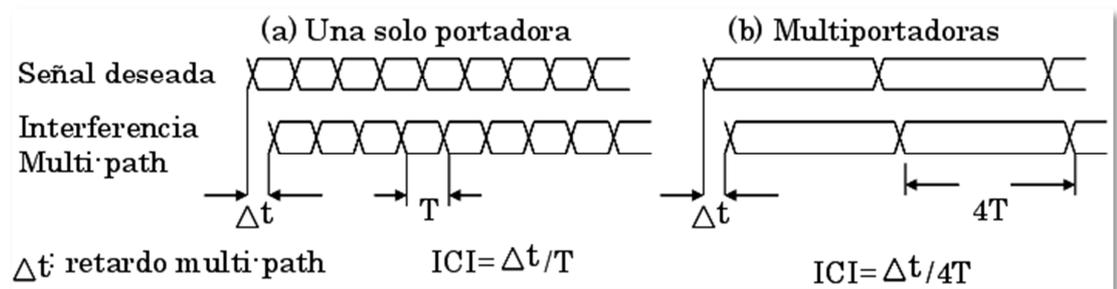
**Figura 10 Diagrama conceptual para la relación entre la modulación y las longitudes de símbolo.**

Fuente: Reporte técnico de ARIB, Dibeg.org

Recuperado de [http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t\\_Spanish.pdf](http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t_Spanish.pdf)

En la figura 10 se muestran 4 portadoras como un sistema multi-portadoras. En el sistema descrito la longitud del símbolo se extiende 4 veces; en cambio, en el sistema de una sola portadora, la longitud del símbolo tiene la misma longitud que el de la señal de entrada.

Como se puede observar, la Interferencia Inter Símbolo (ICI) es inversamente proporcional a la longitud del símbolo, entonces, en una condición de multi-path, un sistema con longitud de símbolo más grande, es mejor.



**Figura 11 Relación de retardo multi-path e ICI.**

Fuente: Reporte técnico de ARIB, Dibeg.org

Recuperado de [http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t\\_Spanish.pdf](http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t_Spanish.pdf)

Adicionalmente, en ISDB-T, se agrega un Intervalo de Guarda a cada símbolo; mejorando la robustez en contra de la interferencia multi-path hasta en una relación de 0dBm D/U (Desired to Undesired ratio – Relación entre Deseado y No deseado) durante el período de longitud del Intervalo de Guarda.

Esta robustez en contra del multi-path es muy importante para la transmisión terrestre debido a las siguientes razones:

- En la banda VHF/UHF, el multi-path siempre existe. Se conoce simplemente como imagen con fantasmas en la TV analógica. Esta interferencia ocurre debido a las montañas, edificios y otros accidentes, por lo que es común tanto en zonas con montañas como en zonas urbanas. El ISDB-T muestra un excelente funcionamiento en la recepción, aun en las condiciones antes mencionadas.

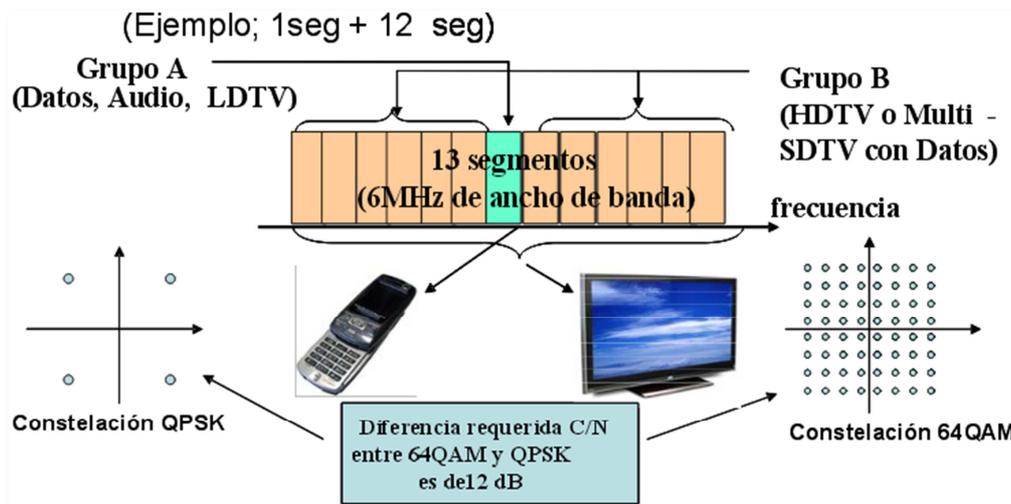
Debido a la construcción de la robustez en contra de la interferencia multi-path, redes de isofrecuencia se pueden construir fácilmente (SFN, Single Frequency Network). Esto permite el ahorro en el espectro de frecuencia, elimina la necesidad de cambiar de canal en los servicios de recepción móvil/ portátil, amplía la cobertura de área, aun con sombras ocasionadas por montañas o edificios, usando pequeños repetidores.

### 2.3.3.4 Movilidad/ portabilidad.

Para permitir los servicios de recepción fija/ móvil/ portátil en el mismo canal, se desarrolló una nueva tecnología denominada “Sistema de Transmisión Segmentada OFDM”, que se utiliza en conjunto con el servicio “One-seg”

#### 2.3.3.4.1 Transmisión segmentada OFDM

La Transmisión Segmentada OFDM es el único sistema de transmisión que es capaz de transmitir diferentes parámetros de señal en el mismo ancho de banda. A este sistema de transmisión se lo conoce como “transmisión en modo jerárquico”



**Figura 12 Imagen del “Sistema de transmisión en modo jerárquico” (caso de 2 grupos).**

Fuente: Reporte técnico de ARIB, Dibeg.org

Recuperado de [http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t\\_Spanish.pdf](http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t_Spanish.pdf)

Se usa un grupo en el centro del ancho de banda para el servicio de recepción portátil, y los otros 12 grupos se usan para el servicio de recepción fija de HDTV.

Para la transmisión de un grupo, las condiciones de recepción, tales como bajo nivel de la altura de la antena, ganancia baja de la antena, fluctuación del nivel de la señal, son necesarios parámetros de transmisión más fuertes, por lo que utiliza QPSK. Por otro lado, para 12 grupos, que se usa para recepción fija, si se considera una gran y alta ganancia de la antena, es deseable una más alta velocidad de transferencia en la transmisión, por lo que utiliza 64 QAM.

Con este sistema se alcanzan las siguientes ventajas:

- Mejor aprovechamiento del espectro de frecuencia: en un canal son posibles múltiples servicios, y no se necesita un canal adicional.
- Ahorro en la infraestructura de transmisión: un solo transmisor es utilizado para los servicios fijos/ móviles/ servicios portables.

#### 2.3.3.4.2 16QAM

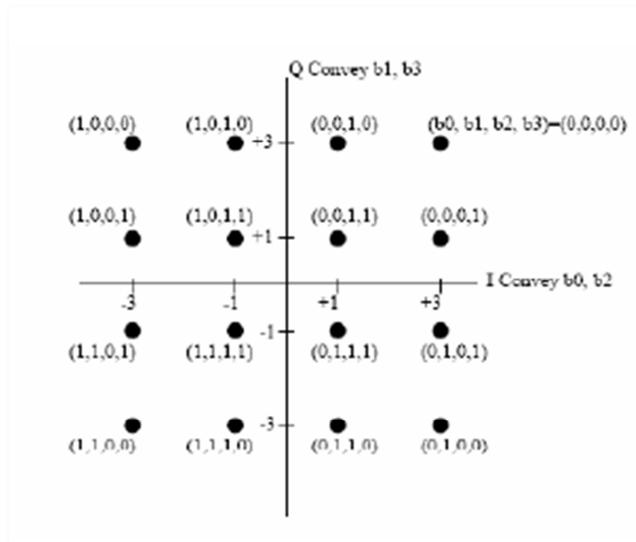
La señal de entrada debe ser de 4 bits por símbolo y con la utilización de 16QAM tenemos a la salida nuestra señal I e Q. Para seguir con el mapeo, los elementos de retardo se muestran en la Figura y son insertados dentro de b1, b2 y b3 en la entrada del modulador 16QAM, en la Figura se muestra el diagrama de constelación de esta modulación.



**Figura 13 Diagrama del sistema 16QAM.**

Fuente: Reporte técnico de ARIB, Dibeg.org

Recuperado de [http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t\\_Spanish.pdf](http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t_Spanish.pdf)



**Figura 14 Diagrama de constelación 16QAM.**

Fuente: Reporte técnico de ARIB, Dibeg.org

Recuperado de [http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t\\_Spanish.pdf](http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t_Spanish.pdf)

### 2.3.3.4.3 Receptor OFDM

Asumiendo que se cumplen los siguientes criterios de diseño del símbolo OFDM tenemos que:

- $T_c > T_s$ , lo que garantiza que el canal tiene un desvanecimiento lento
- $\sigma_c < T_s$ , lo que garantiza tener un canal con desvanecimiento plano.
- $\Delta f < B_{ch}$ , lo que garantiza un buen muestreo.

Donde,  $T_c$  es el tiempo de coherencia del canal,  $T_s$  es el tiempo de símbolo,  $\Delta f$  es el periodo del símbolo,  $\Delta f$  es el esparcimiento entre subportadoras y  $B_{ch}$  es el ancho de banda coherente del canal.

La señal recibida en RF es:

$$y(t) = h(t) * x(t) + z(t)$$

Donde  $y$  es la señal recibida,  $h$  es la respuesta al impulso del canal y  $z$  es el ruido.

Pasando a banda base y trabajando en el dominio de la frecuencia la ecuación, tenemos la siguiente representación de la señal recibida:

$$Y(j\omega) = H(j\omega)X(j\omega) + Z(j\omega)$$

Obteniendo así,

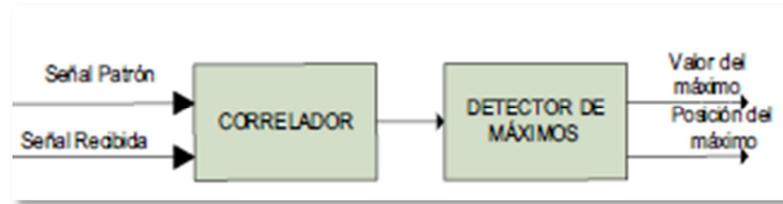
$$Y_k(j\omega) = H_k X_k + Z_k$$

Podemos apreciar todo el procedimiento lógico que se debe seguir para lograr un receptor OFDM. Primero, se realiza la sincronización de símbolo, se realiza la remoción del prefijo cíclico y se convierte la señal del dominio del tiempo a la frecuencia, esta señal pasa a un estimador de canal y seguidamente se realiza la equalización de canal, finalmente se realiza en demapeo y la conversión de paralelo a serie.

### **2.3.3.5 Sincronizador**

#### **2.3.3.5.1 Sincronización por correlación**

En la figura se puede apreciar el procedimiento lógico necesario para realizar este tipo de sincronización, donde se toman dos señales para realizar la correlación entre estas, por medio de la señal de correlación se detecta en valor máximo y la posición del máximo, el cual representa la posición donde inicia la trama OFDM transmitida.



**Figura 15 Diagrama lógico sincronizador por correlación**

Fuente: Reporte técnico de ARIB, Dibeg.org

Recuperado de <http://www.dibeg.org/>

La autocorrelación depende de la evaluación de las funciones de correlación  $G(j)$  y  $R(j)$ , donde  $j$  es el índice de la más reciente muestra entrante

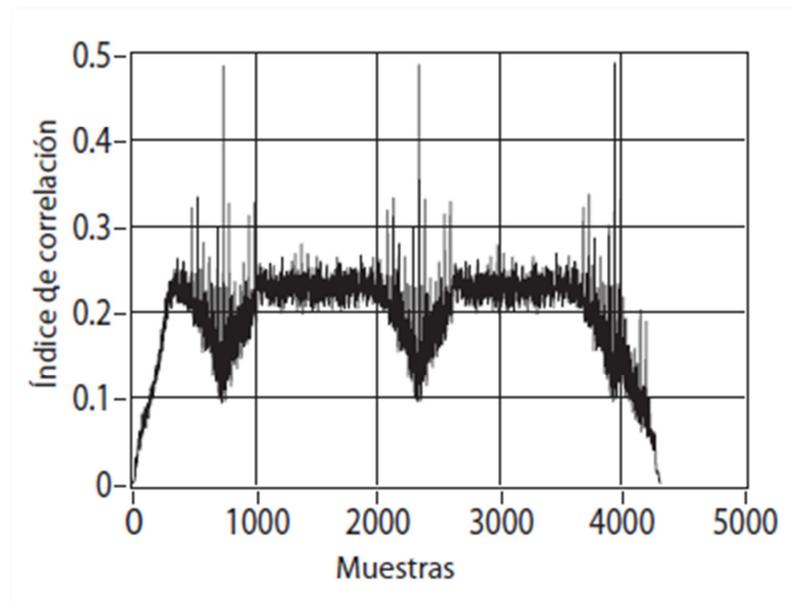
$$G(j) = \sum_{m=0}^{Ng-1} z(j-m) \cdot z(j-m-N) *$$

$$R(j) = \sum_{m=0}^{N+Ng-Ng-1} z(j-m) \cdot z(j-m-Ns) *$$

En donde,  $Z(j)$  es la señal compleja conjugada,  $N$  es el número de subportadoras por símbolo OFDM,  $Ns$  es la periodicidad del símbolo de referencia,  $Ng$  es la longitud del prefijo cíclico,  $G(j)$  expresa la correlación entre dos secuencias de muestras de longitud  $Ng$ , espaciadas por  $N$  en el flujo de muestras recibidas y  $R(j)$  es la expresión correspondiente para el símbolo de referencia, donde el periodo del patrón de sincronización repetitivo es  $Ns$ .

En LabView para construir la sincronización por auto correlación se debe reproducir en el receptor el preámbulo transmitido y la señal que viene del canal y se realiza la autocorrelación entre estas dos señales, donde, el patrón de correlación es el preámbulo transmitido. En la figura se puede observar que la correlación detecta en que intervalo, estas dos señales son lo más parecidas posibles, el pico máximo de esta señal de correlación, representa la posición donde termina el preámbulo transmitido, por lo cual, la muestra siguiente de este valor máximo es donde iniciara el símbolo OFDM.

Finalmente, como ya se conoce donde termina el preámbulo, se comienza a leer la señal que viene del transmisor desde donde inicio el preámbulo hasta donde termina los símbolos OFDM, con el fin de tener el preámbulo y los cuatro símbolos OFDM en una nueva variable.



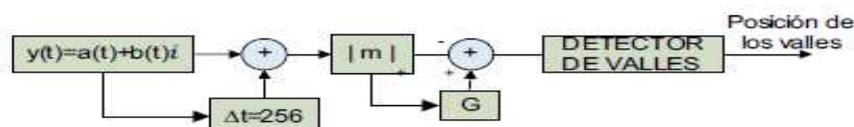
**Figura 16 Señal de sincronización por correlación.**

Fuente: Reporte técnico de ARIB, Dibeg.org

Recuperado de <http://www.dibeg.org/>

### 2.3.3.5.2 Sincronización diferencial de prefijo cíclico

En la figura se puede apreciar el procedimiento lógico que se le debe realizar a la señal para lograr este tipo de sincronización, se debe tener en cuenta que la señal de entrada es la que señal compleja que viene del prefijo cíclico desde el transmisor, el tamaño útil de símbolo es 256 muestras. La salida de este sincronizador arroja las posiciones donde inicia cada símbolo OFDM.



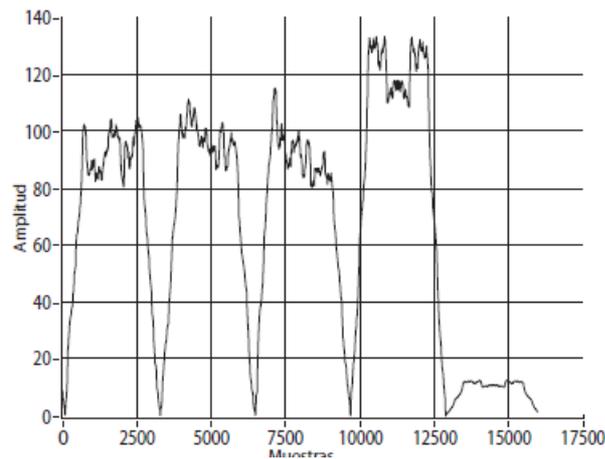
**Figura 17 Diagrama Lógico sincronizador.**

Fuente: Reporte técnico de ARIB, Dibeg.org

Recuperado de <http://www.dibeg.org/>

Este tipo de sincronización se logra usando un pulso generado con la sincronización, se deriva del valor absoluto de las muestras complejas del símbolo, luego estos valores se llevan a un restador y un retardador, este ultimo esos valores un valor igual al tamaño útil del símbolo, luego estos dos valores se restan y se lleva a un integrador, se lleva a un detector de valles, donde valles representan el inicio de cada símbolo.

En la figura se puede apreciar la salida del sincronizador, donde cada uno de los valles, representa la posición donde inicia cada símbolo.



**Figura 18 Señal de sincronización diferencial.**

Fuente: Reporte técnico de ARIB, Dibeg.org

Recuperado de <http://www.dibeg.org/>

### 2.3.3.6 Remoción prefijo cíclico

Este módulo recibe la señal sincronizada representada como un vector. Este vector se divide en una matriz de cinco filas y 320 columnas, donde las filas representan los cuatro símbolos y el símbolo preámbulo y las columnas representan la longitud total del símbolo. Finalmente, se suprimen las primeras 64 muestras de cada símbolo.

### 2.3.3.7 FFT

En este módulo cada símbolo se pasa del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia mediante la transformada de Fourier.

### 2.3.3.8 Descomposición de la trama

Se descompone cada uno de los cuatro símbolos de la siguiente manera:

Datos son las 189 portadoras de datos de cada símbolo; pilotos son las 22 portadoras pilotos de cada símbolo OFDM; guarda son las 45 portadoras de guarda de cada símbolo.

### 2.3.3.9 Estimador

En el estimador se hace importante el símbolo preámbulo, ya que, este es usado para detectar el inicio de cada trama, desde que la ráfaga sea corta. Retomando la ecuación 4 asumimos que la señal recibida después de la FFT es:

$$Y(k) = \hat{C}(k)X(k) + Z(k)$$

Donde  $k$  es el índice de las subportadoras,  $C$  es el desvanecimiento del canal en la posición  $k$ ,  $X$  son las portadoras piloto y  $Z$  el ruido. Asumiendo que el ruido es despreciable, tenemos que la estimación de canal, llamada zero forcing es:

$$\hat{C}(k) = Y(k) / X(k)$$

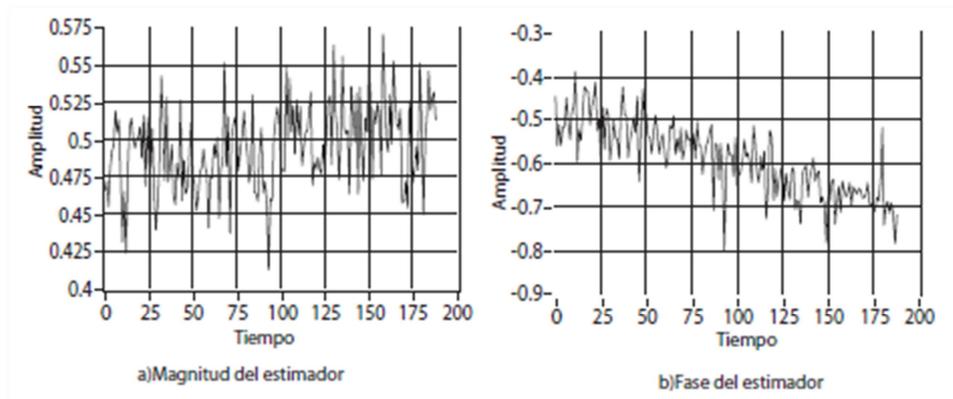
La estimación de canal corrige la rotación de fase progresiva y el ecualizador corrige un pequeño offset de tiempo. La estimación del canal es la división de la señal recibida entre las pilotos conocidas.

La ecualización se obtiene con la multiplicación de los símbolos recibidos por el inverso de los coeficientes del estimador

$$\tilde{s}_{ZF}[k] = \hat{C}^{-1}[k]X[k]$$

Para construir el estimador se toma el preámbulo recibido y el preámbulo transmitido y se realiza la división entre estos.

Para el ecualizador se ingresa el resultado del estimador y se obtiene el inverso de esta, luego se multiplica el resultado del inverso por toda la matriz de las portadoras de datos.



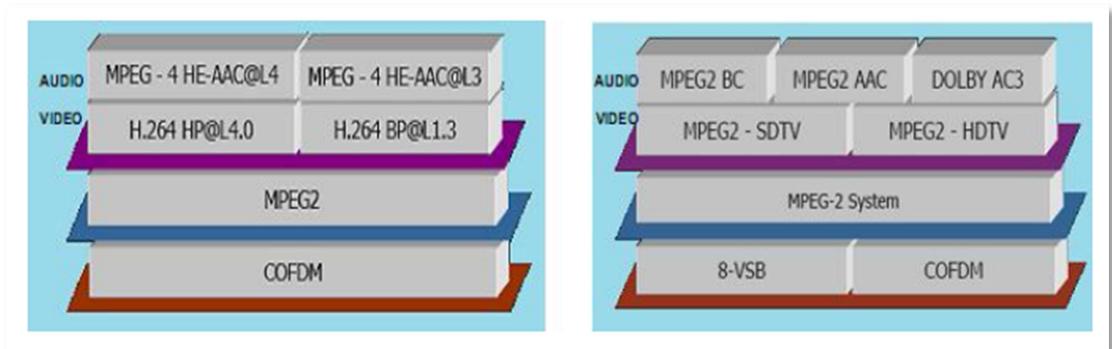
**Figura 19 Magnitud y fase del canal estimador.**

Fuente: Reporte técnico de ARIB, Dibeg.org

Recuperado de <http://www.dibeg.org/>

### 2.3.3.10 Formato de compresión de audio y video

En el sistema ISDB-Tb al igual que en los otros estándares (ATSC, DVB-T e ISDB-T) existen tres tipos de fuentes: fuente de audio, fuente de video y fuente de datos, como se muestran en la figura, estas fuentes tienen que ser comprimidas antes de ingresar al multiplexor de servicios, para que puedan ser comprimidas y codificadas estas dichas fuentes ISDB-Tb utiliza el estándar MPEG-4 H.264 para la fuente de video, y MPEG-4 AAC (Advance Audio Coding) para la fuente de audio.

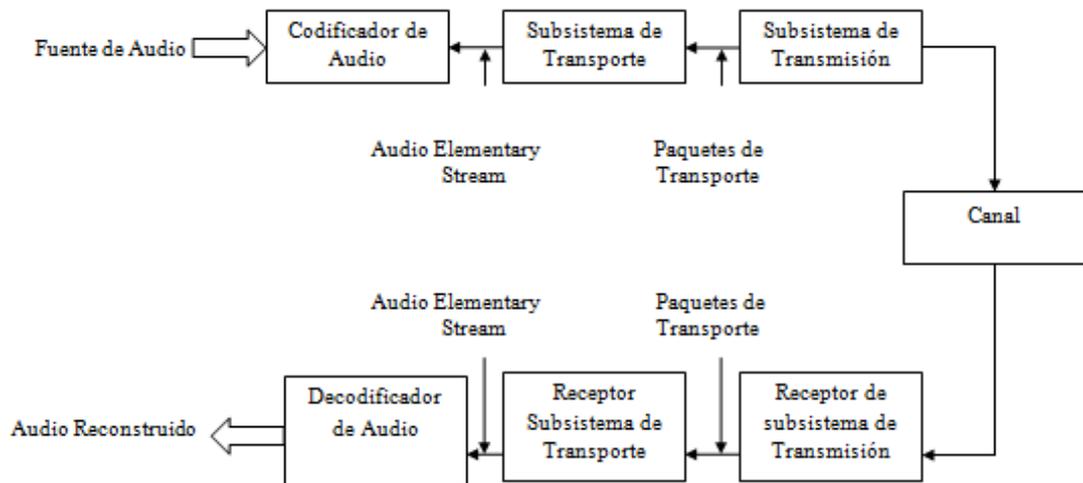


**Figura 20 Estándares de referencia utilizados por ISDB-Tb**

Fuente: Informe para la definición e implementación de la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador, Ecuador, SUPERTEL.

### 2.3.3.10.1 Sistema de compresión de audio

El sistema de compresión de audio, consta de un codificador y un decodificador de audio, el cual acepta señales de entrada analógica o digital y el bloque del subsistema de audio está antes del subsistema de transporte, el bloque del codificador recibe las señales del audio en dominio del tiempo y las convierte en el dominio de la frecuencia con el propósito de convertir la salida en una cadena de bits, para así llegar al subsistema de transporte, el cual empaqueta los datos de audio y se pasa al subsistema de transmisión el cual cambia los paquetes en una señal modulada en RF para luego ser recibida por el subsistema de recepción y luego demodularla desempaquetar y decuantificar los flujos o tramas con los datos como se aprecia en la figura.



**Figura 21 Subsistema de audio dentro de un sistema de televisión digital**  
Fuente: Informe para la definición e implementación de la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador, Ecuador, SUPERTEL.

### 2.3.3.10.2 Sistema de compresión de video

A diferencia del estándar japonés que utiliza MPEG-2, el estándar brasilero utiliza MPEG-4, que permite transmitir en el mismo canal un programa con calidad de alta definición (SDTV). Además estas herramientas de compresión deben estar de acuerdo de manera obligatoria con la recomendación H.264 de la ITU-T.

La intención del proyecto H.264/AVC fue la de crear un estándar capaz de proporcionar una buena calidad de imagen con tasas binarias notablemente inferiores a los estándares previos (MPEG-2, H.263 o MPEG-4 parte 2), además de no incrementar la complejidad de su diseño.

La diferencia más considerable de MPEG-4 en base a las nuevas funcionalidades con otros estándares audiovisuales, es su modelo de representación audiovisual que se basa en objetos. Una escena basada en objetos es construida mediante objetos individuales que tienen relación tanto espacial como temporal, ofreciendo numerosas ventajas.

Estos objetos pueden existir de manera independiente o también pueden agruparse entre algunos de ellos y formar enlaces audiovisuales. A esta agrupación se la conoce

como composición y el resultado es una escena MPEG-4. La ventaja de realizar esto es que tanto el audio como el video pueden ser fácilmente manipulados.

#### **2.3.3.11 Servicio One-seg**

El servicio One-seg usa un segmento del ancho de banda de 6 MHz, no necesita otro canal, en consecuencia no necesita otro transmisor, permite ahorrar frecuencias y costos de infraestructura a las compañías transmisoras.

El receptor One-seg, opera con una recepción de banda muy estrecha, esto ahorra consumo de energía, obteniendo un largo tiempo de recepción con baterías (dispositivos portátiles).

One-seg adopta una tecnología única, llamada recepción parcial, para reducir el consumo de energía del receptor. El factor más importante para reducir el consumo de energía, es disminuir la velocidad de procesamiento en el receptor.

#### **2.3.3.12 Compatibilidad.**

Para reducir el costo de los receptores, se usa una tecnología común para los receptores digitales para satélite/ terrestres/ cable. Como resultado, el chip de recepción que usan estos equipos digitales es común.

En Japón, los receptores integrados, que cuentan con sintonizadores para satélite y terrestre, son muy populares.

#### **2.3.3.13 Uso para casos de prevención de desastres.**

La utilización para prevención de desastres es también un punto importante en la transmisión y recepción digital.

Para cumplir con este uso, son necesarios contar con dos rubros: uno es la portabilidad, el otro es el EWS (Early Warning System – Sistema de Alerta Temprana)

El propósito de la EWS, es encender los receptores automáticamente por medio de una señal de alerta que se incluye en la señal de transmisión.

## **2.4 Software LabVIEW**

Debido a que este es un proyecto de carácter educativo y se busca utilizar un Software Definido por Radio (SDR) para la realización de las mediciones, se ha optado por el uso del software LabVIEW.

### **2.4.1 ¿Qué es LabVIEW?**

LabVIEW es una plataforma de programación gráfica que ayuda a ingenieros a escalar desde el diseño hasta pruebas y desde sistemas pequeños hasta grandes sistemas. Ofrece integración sin precedentes con software legado existente, IP y hardware al aprovechar las últimas tecnologías de cómputo. LabVIEW ofrece herramientas para resolver los problemas de hoy en día y la capacidad para la futura innovación, más rápido y de manera más eficiente.

### **2.4.2 Programación en LabVIEW**

Gracias a que la programación en el software LabVIEW es realizada de modo gráfico, nos permite optimizar la visualización de los sistemas o aplicaciones que se están programando mediante la simplificación de la complejidad de estos. Su interfaz gráfica, que consta de bloques y conectores, ayuda a la comprensión de los sistemas en un ambiente educativo, integrando cualquier hardware con extensas bibliotecas de análisis y procesamiento de las señales.

LabVIEW nos permite desarrollar interfaces de usuario rápidamente para visualización de datos en vivo de manera eficiente y resultados analizados en menor tiempo, así como la entrada de comandos cruciales del operador.

### **2.4.3 Interfaz en LabVIEW**

Todos los componentes del software LabVIEW se muestran en el Anexo 2.

## **2.5 USRP (Universal Software Radio Peripheral)**

NI USRP (Universal Software Radio Peripheral) es un radio flexible y rentable que transforma una PC estándar en una plataforma de generación de prototipos inalámbrica. Combinado con el software NI LabVIEW, los transceptores NI USRP ofrecen un sistema potente para trabajar rápidamente.

### **2.5.1 Dimensiones físicas del NI-USRP-2920**

- Ancho: 15.875 cm
- Alto: 4.826 cm
- Largo: 21.209 cm
- Peso: 1.193 kg – 2.63 lb

### **2.5.2 Condiciones ambientales para el uso del NI-USRP-2920**

El NI-USRP 2920 trabaja bajo la modalidad indoor, a una altitud máxima de 2000 metros, a una temperatura ambiental de 25° C con rangos de humedad del 10% al 90%.

La temperatura óptima para la operación del equipo es de 23° C,  $\pm$  5° C.

### **2.5.3 Interfaces del NI-USRP-2920**

El NI-USRP 2920 consta de una tarjeta madre en la que se alojan puertos de comunicación de diferente tipo, ubicados en la parte frontal del dispositivo:

- Puerto de transmisión y recepción de RF primario.

- Puerto de recepción RF secundario.
- Puerto de entrada para señal de referencia de tiempo.
- Puerto de entradas para señal de referencia externa.
- Expansión MIMO para múltiples salidas o entradas.
- Puerto Gigabit Ethernet para conectores RJ-45.
- Entrada de alimentación.
- Leds indicadores de operación.

#### **2.5.3.1 Puerto de transmisión y recepción de RF primario.**

Puerto utilizado para la transmisión y recepción de señales de radiofrecuencia que funciona como salida o entrada para un canal individual de hasta 30 GHz. Posee un conector SMA (hembra) para cable coaxial con impedancia de 50 ohm.

#### **2.5.3.2 Puerto de recepción de RF secundario.**

Puerto utilizado para recepción de señales de radiofrecuencia que funciona como únicamente como entrada para un canal individual. Posee un conector SMA (hembra) para cable coaxial con impedancia de 50 ohm.

#### **2.5.3.3 Puerto de entrada para señal de referencia externa.**

Puerto de entrada para la señal de referencia externa, empleada por el oscilador interno del NI-USRP-2920. Posee un conector SMA (hembra) de 50 Ohm de impedancia y acepta señales dentro del rango de los 10 MHz desde 0 hasta 15 dBm.

#### **2.5.3.4 Puerto de entrada para señal de referencia de tiempo.**

Puerto de entrada para señales de temporización de pulsos por segundo (PPS). Posee un conector SMA (hembra) de 50 Ohm de impedancia y admite voltajes desde los 0V hasta los 3.3 V TTL y señales de 0 a 5 V TTL.

#### **2.5.3.5 Puerto MIMO**

Puerto Multiple Inputs – Multiple Outputs, se emplea para la conexión de dos dispositivos NI-USRP. Funciona como un switch usando un cable MIMO compatible para este tipo de conexión.

#### **2.5.3.6 Puerto Gigabit Ethernet**

Puerto de conexión entre el computador y el NI-USRP. Acepta conectores RJ-45 y cables de par trenzado compatibles con Gigabit Ethernet, categoría 5 hasta la 6. Tiene una traza de transmisión de 10, 100 o 1000 Mbps.

#### **2.5.3.7 Entrada de alimentación de poder**

Entrada de alimentación de poder tipo DC, de 6V/ 3A y tiene una potencia total de operación típica de máximo 18 W.

## **CAPITULO III**

### **IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO**

#### **3.1 Antecedentes**

El proyecto plantea la elaboración de un algoritmo que recepte la señal modulada en Televisión Digital para lograr así la medición de los principales parámetros que indican el nivel de calidad de la transmisión. Para poder llevar a cabo el proyecto se ha requerido principalmente de un equipo que realice el trabajo de recepción de señal de audio y video que deseamos. El dispositivo que cumple con todos estos requerimientos es NI-USRP 2920, ya que trabaja en el rango de frecuencias que se permite transmitir TDT, además permite realizar el tipo de multiplexación adecuada, tipos de modulación.

Este equipo posee ventajas que lo hacen ser uno de los más utilizados en cuanto a transmisión y recepción, sus dimensiones físicas ayudan a que sea portable, es decir se puede trasladar a otros lugares para realizar pruebas de campo.

Además del NI-USRP, se requirió de equipos intermediarios para poder realizar la comunicación entre el transmisor y receptor. Adicional tenemos la parte de la programación que es realizada mediante el software SDR.

## 3.2 Esquema del proyecto

### 3.2.1 Diagrama técnico de proyecto

A continuación se detalla el esquema de funcionamiento de la recepción de señal TDT bajo el standard ISDB-Tb.

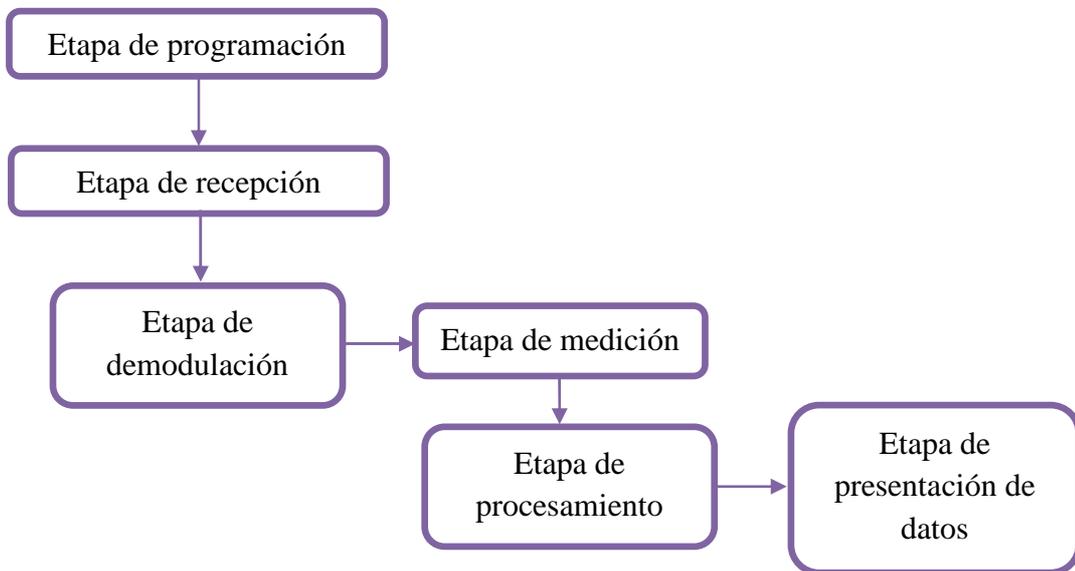


**Figura 22 Diagrama de proceso.**

En la figura anterior se muestra los dispositivos usados para el funcionamiento óptimo del proyecto. Bajo este esquema se encuentran 6 etapas que son las siguientes:

1. Etapa de programación
2. Etapa de recepción
3. Etapa de demodulación
4. Etapa de medición
5. Etapa de procesamiento
6. Etapa de presentación de datos

A continuación se detalla el diagrama de bloques sobre las etapas que tiene el proyecto.



**Figura 23 Mapa conceptual de etapas**

De acuerdo al diagrama de bloques se puede decir que la primera etapa corresponde a la programación que se realiza mediante un SDR, la segunda etapa corresponde a la modulación de la señal, en la tercera etapa se encuentran las mediciones de los parámetros captados, en la penúltima etapa se realiza el procesamiento de los datos mediante operaciones matemáticas y en la sexta o última etapa se muestra la presentación de datos, las cuales indicarán el nivel de calidad.

### **3.3.1 Etapa de programación**

#### **3.3.1.1 Introducción**

La programación que controlará los parámetros para poder realizar la recepción de la señal TDT será alojada en la computadora portátil. Para poder ejecutar correctamente la programación bajo el software LabVIEW, la parte procesadora del equipo portátil tiene un procesador Intel Core i3, 4.00 Gb de memoria RAM, 700 Gb de disco duro y sistema operativo Windows 8.

### 3.3.1.2 Conexión de una red de área local entre computador y el NI-USRP 2920

Teniendo en cuenta que se usa el equipo NI-USRP como receptor, la computadora portátil se conecta al equipo antes mencionado por medio de un adaptador Gigabit Ethernet para poder establecer un enlace de red local, el tipo de cable de conexión es un UTP categoría 6. Una vez establecido el enlace se produce la recepción de datos que son enviados al ordenador.

El equipo NI-USRP solamente establecerá una conexión mediante la interfaz Gigabit Ethernet debido a sus características intrínsecas.

La conectividad se realiza mediante el protocolo IP. Al equipo se le configura la dirección IP deseada mediante el NI-USRP Configuration Utility, la cual es 192.168.10.6; al ordenador se le asigna una IP que se encuentre dentro del rango de la red. Las direcciones IP utilizadas para el proyecto son privadas.

Para realizar esta configuración desactivamos el adaptador inalámbrico y procedemos a conectar el cable de red y procedemos a asignar la dirección IP.

Panel de control/ Redes e Internet/ Centro de redes/ Estado de red

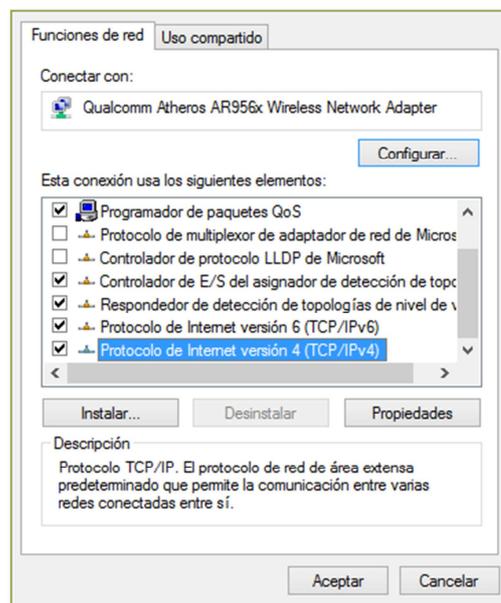
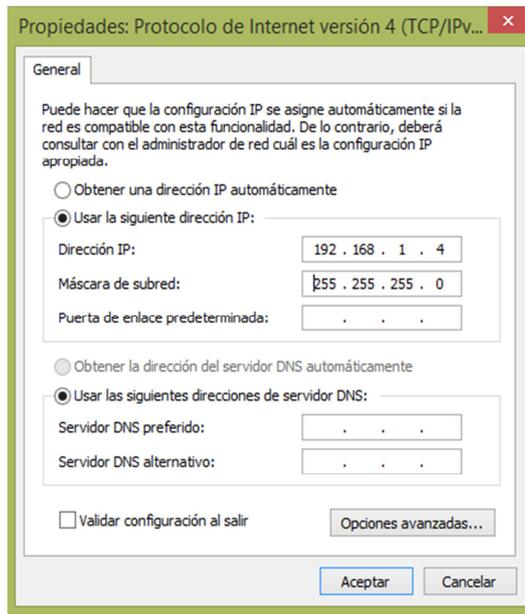


Figura 24 Funciones de red

Propiedades, procedemos a cambiar la dirección IP.



**Figura 25 Propiedades de TCP/IPV4.**

Los únicos datos de red que se necesitan para poder establecer la conexión son la IP 192.168.1.4 y la máscara de subred 255.255.255.0.

Luego de ingresar los datos correctos se procede a conectar el ordenador al USRP 2920 por medio de un cable UTP6. Para verificar que haya conexión entre la computadora y el USRP, se ingresa a la pantalla CMD y se ingresa el comando ping 192.168.1.6 (IP del USRP).

Si todo está configurado correctamente entonces como respuesta deberíamos obtener lo siguiente:

```
C:\Documents and Settings\Estudiente>ping 192.168.1.165
Haciendo ping a 192.168.1.165 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.165: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.165: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.165: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.165: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Estadísticas de ping para 192.168.1.165:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 0ms, Máximo = 1ms, Media = 0ms
C:\Documents and Settings\Estudiente>_
```

**Figura 26 Comando ping para verificación de conexión.**

### **3.3.1.3 Desarrollo del software controlador (SDR)**

#### **3.3.1.3.1 Antecedentes**

El proyecto usa un SDR (Radio definido por software) con interfaz gráfica, en la cual se configuran todos los parámetros necesarios para que la captación de señal sea la más nítida y eficiente al momento de mostrar los valores obtenidos.

El programa se desarrolló mediante el software LabVIEW de National Instruments debido a su ambiente amigable al momento de realizar la programación, además de que es un software que la mayoría de los estudiantes de ingeniería electrónica la manejan.

Se utilizó la versión LabVIEW 2014 de 64 bits para el desarrollo del programa, adicional se agregaron herramientas como Modulation Toolkit para que encontremos los drivers NI-USRP.

En las siguientes páginas se analizará más a fondo los VIs que se utilizaron en la programación del SDR y del programa controlador del sistema.

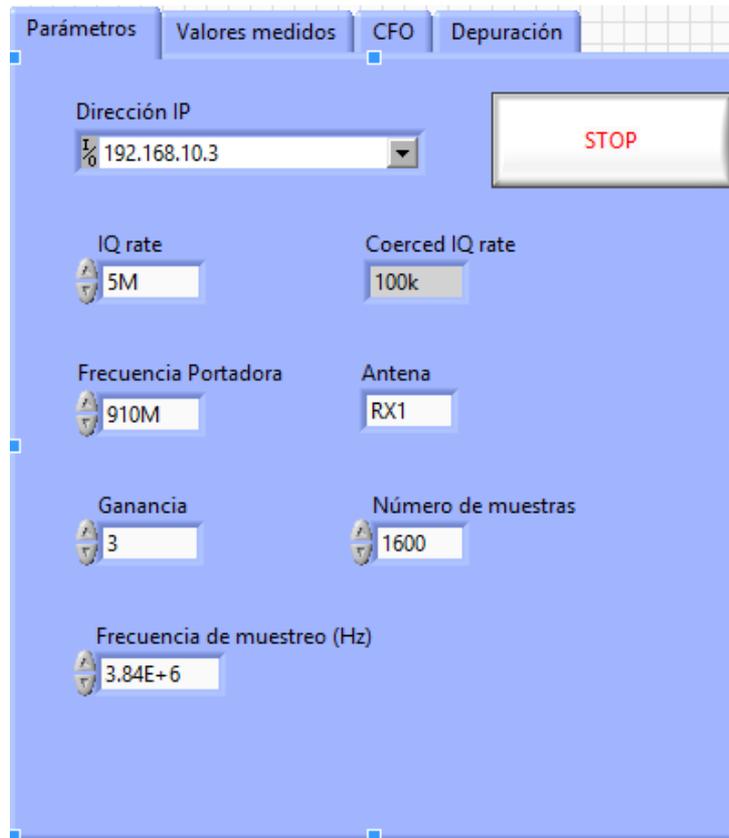
#### **3.3.1.3.2 Programa controlador de recepción de señal**

En la gráfica, a continuación, se pueden apreciar los distintos bloques que conforman los parámetros que se deberán configurar para lograr la recepción de datos con la frecuencia asignada.



### 3.3.1.3.2.1 Campos de la interfaz de programa

#### 3.3.1.2.3.1.1 Campos de los parámetros del USRP



**Figura 28 Configuración de parámetros del USRP**

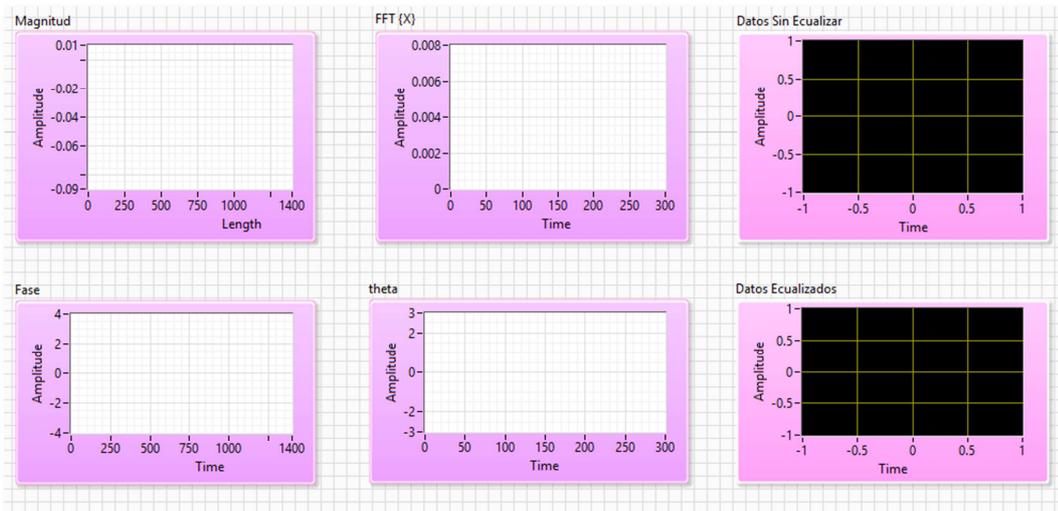
En la gráfica anterior se observan los campos donde se deben ingresar los datos necesarios para poner en funcionamiento el USRP.

En el campo Dirección IP, se debe ingresar la dirección con la que se tendrá comunicación entre el ordenador y el USRP.

En la frecuencia portadora se debe ingresar las diferentes frecuencias que la ARCOTEL asignó a los canales de televisión que transmiten TDT.

En el campo antena se ingresa en que puerto va a ir conectada a antena, en el USRP se tienen dos puertos: Rx1 y Rx2; para nuestro proyecto utilizamos en el puerto Rx1.

### 3.3.2 Etapa de recepción de datos



**Figura 29 Gráficas de datos procesados**

En la imagen se puede apreciar la magnitud y la fase en la que se están recepcionando los datos, tanto en longitud como en tiempo.

FFT(x), en este módulo cada símbolo se pasa del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia mediante la transformada de Fourier. En particular, el demodulador toma una muestra de I y una muestra de Q, las interpreta como la parte real e imaginaria de un número complejo, y mide su amplitud y fase para determinar a qué valores binarios corresponden, Theta.

En los últimos dos cuadros se muestran la gráfica de los datos ecualizados, la ecualización se obtiene con la multiplicación de los símbolos recibidos por el inverso de los coeficientes del estimador; además de los datos sin ecualizar.

### 3.3.2.1 Programación del controlador de recepción

#### 3.3.2.1.1 Diagrama de bloques

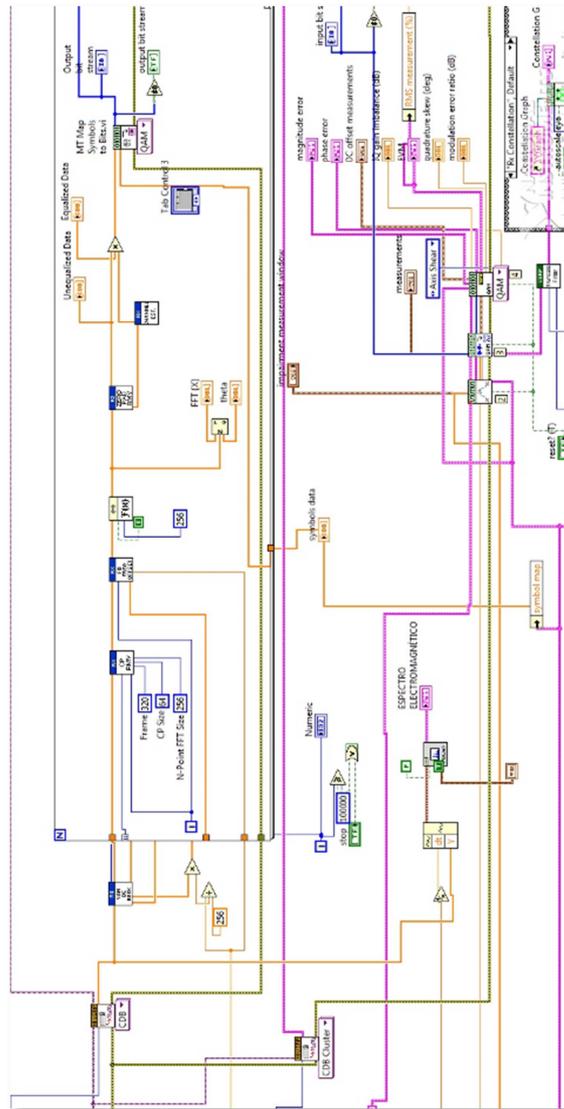
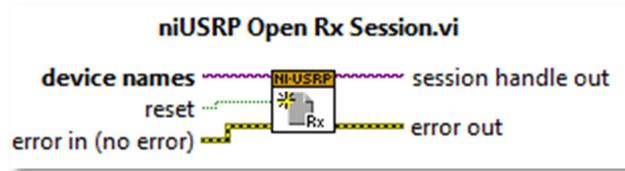


Figura 30 Diagrama de bloques del programa controlador

Para mayor comprensión sobre el diagrama de bloques se detallará por etapas:

### 3.3.2.1.2 Etapa de programación de bloques del NI-USRP

Para dar inicio al programa por medio del NI- USRP 2920, se usa el Vi de apertura.



**Figura 31 niUSRP Open Rx Session**

Fuente: LabVIEW 2014

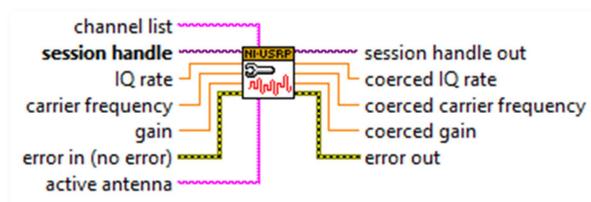
Como dato para ingresar al elemento anterior tenemos la dirección IP que previamente fue configurado.



**Figura 32 VI sesión of class**

Fuente: LabVIEW 2014

Esta imagen muestra la configuración de señales.

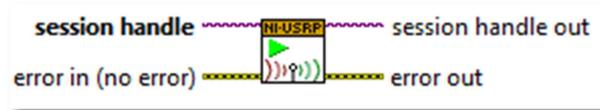


**Figura 33 niUSRP Configure Signal**

Fuente: LabVIEW 2014

Los puntos del lado izquierdo del elemento se deben conectar con los parámetros a ingresar al programa controlador, sesión handle se conecta con sesión handle out del niUSRP Open Rx Session.

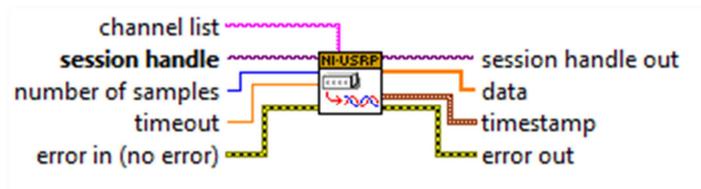
Para dar inicio a la adquisición de recepción se utiliza el siguiente elemento de la librería drivers niUSRP.



**Figura 34 niUSRP Initiate**

Fuente: LabVIEW 2014

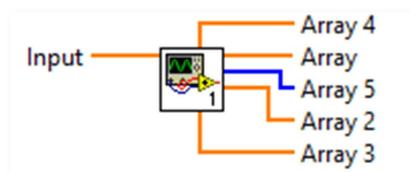
Extrae datos de recepción desde la lista de canales específicos, tiene las opciones: automatic, single channel, multi channel; para nuestro proyecto hemos utilizado single channel, double complex (CDB).



**Figura 35 niUSRP Fetch Rx Data (Poly)**

Fuente: LabVIEW 2014

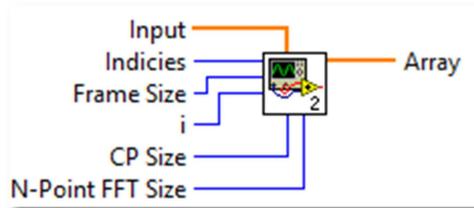
Este módulo recibe la señal sincronizada representada como un vector. Este vector se divide en una matriz de cinco filas y 320 columnas, donde las filas representan los cuatro símbolos y el símbolo preámbulo y las columnas representan la longitud total del símbolo. Finalmente, se suprimen las primeras 64 muestras de cada símbolo.



**Figura 36 Algoritmo (SubVI)**

Fuente: LabVIEW 2014

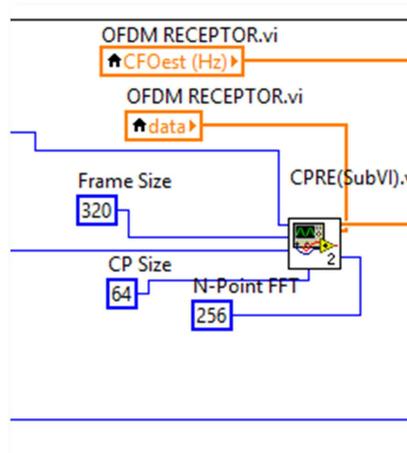
Remueve prefijos cíclicos desde una trama y extrae los N puntos de símbolos de datos, es decir: Trama= CP+Datos



**Figura 37 CPRE**

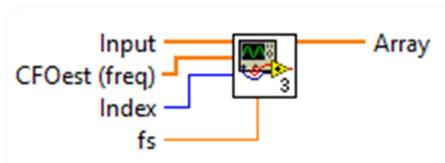
Fuente: LabVIEW 2014

En la figura se puede apreciar el procedimiento lógico que se le debe realizar a la señal para lograr este tipo de sincronización, se debe tener en cuenta que la señal de entrada es la que señal compleja que viene del prefijo cíclico desde el transmisor, el tamaño útil de símbolo es 256 muestras. La salida de este sincronizador arroja las posiciones donde inicia cada símbolo OFDM.



**Figura 38 Sincronización diferencial de prefijo cíclico**

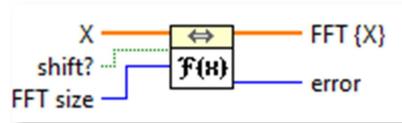
Corrige los datos de la frecuencia portadora offset.



**Figura 39 CFOC.vi**

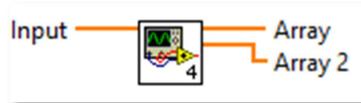
Fuente: LabVIEW 2014

Calcula la transformada de Fourier de la entrada de secuencia X. Conecta datos desde la entrada X para determinar la instancia.



**Figura 40 FFT.vi**  
Fuente: LabVIEW 2014

Remueve los ceros añadidos por prefijo cíclico, des-intercala datos y extrae símbolos de referencia.



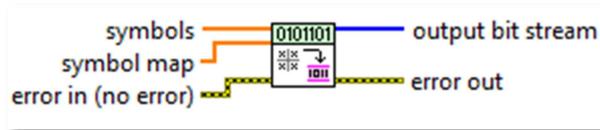
**Figura 41 CEROB.vi**  
Fuente: Los autores

Estima canales basados en símbolos de referencias recibidas y símbolos de referencias conocidos.



**Figura 42 ESTCAN.vi**  
Fuente: LabVIEW 2014

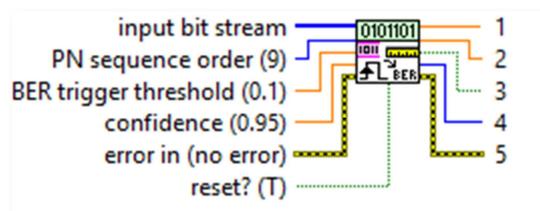
Mapas complejos valorados PSK, QAM, PAM, ASK, FSK, MSK, y CPM, modula datos a una salida stream de bits basados en mapa de símbolos que se han especificados. Para nuestro proyecto hemos elegido modulación QAM.



**Figura 43 MT Map Symbols to Bits.vi**

Fuente: LabVIEW 2014

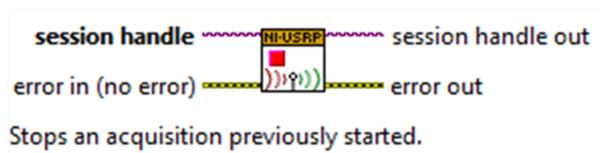
Calcula el Bit Error Rate contra una secuencia PN o el patrón de referencia que se ha especificado.



**Figura 44 MT Calculate BER**

Fuente: LabVIEW 2014

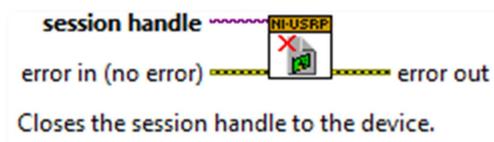
Detiene la adquisición de datos receptados previamente iniciado.



**Figura 45 niUSRP Abort.vi**

Fuente: LabVIEW 2014

Cierra la sesión del manejo del niUSRP.

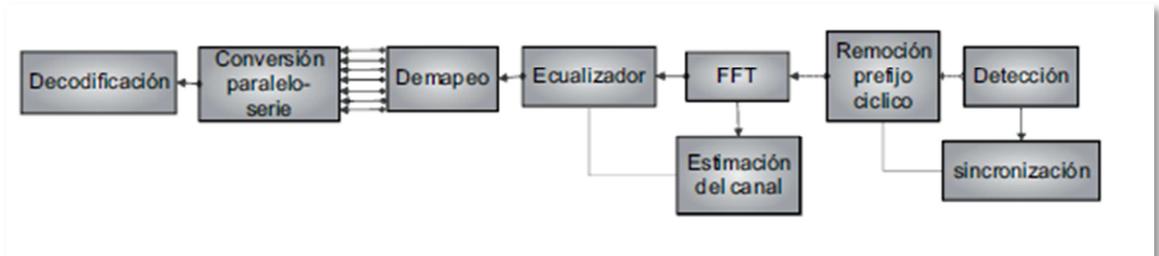


**Figura 46 niUSRP Close Session**

Fuente: LabVIEW 2014

### 3.3.2.1.3 Etapa de presentación de datos

En esta etapa se muestran las tablas de valores y las gráficas que fueron obtenidas de la recepción de señal Isdb-tb una vez que hayan cumplido el siguiente proceso:



**Figura 47 Diagrama lógico del receptor OFDM**

Fuente: John Wiley & Sons, 2003.

## CAPITULO IV

### 4.1 Presentación de resultados

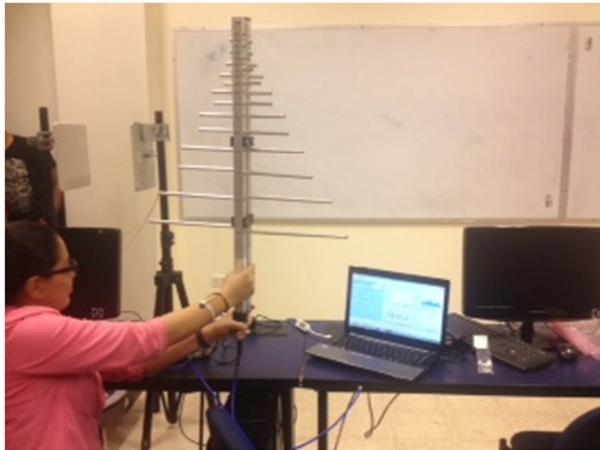
Para la presentación de los resultados, el proyecto se sometió a 2 pruebas de recepción de la señal ISDB-TB las cuales arrojaron diferentes resultados de acuerdo al canal que se analiza y al sector en que se encuentra el equipo receptor.

Estas pruebas se realizaron en:

- Laboratorio d Telecomunicaciones de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA sede Guayaquil.

### 4.2 Pruebas de Laboratorio

Prueba en el Laboratorio de telecomunicaciones de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA sede Guayaquil.



**Figura 48 Laboratorio de Telecomunicaciones**

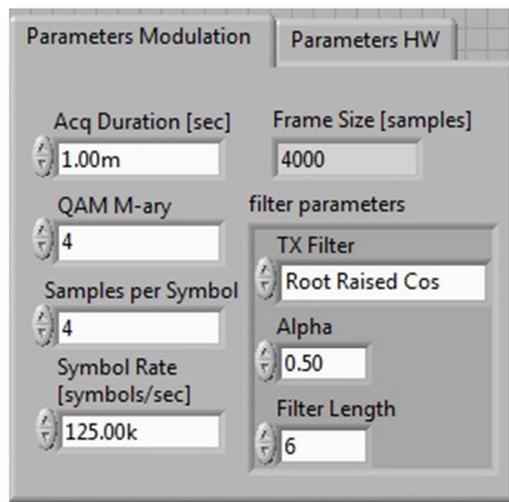
Para la recepción de la señal se utilizó el equipo NI-USRP y su antena para recibir las frecuencias emitidas en TDT.

En la figura se puede apreciar máximo, el procedimiento lógico necesario para realizar este tipo de sincronización, donde se toman dos señales para realizar la correlación entre estas, por medio de la señal de correlación se detecta en valor máximo y la posición del cual representa la posición donde inicia la trama OFDM transmitida.

En LabView para construir la sincronización por autocorrelacion se debe reproducir en el receptor el preámbulo transmitido y la señal que viene del canal y se realiza la autocorrelacion entre estas dos señales, donde, el patrón de correlación es el preámbulo transmitido. En la figura se puede observar que la correlación detecta en que intervalo, estas dos señales son lo más parecidas posibles, el pico máximo de esta señal de correlación, representa la posición donde termina el preámbulo transmitido, por lo cual, la muestra siguiente de este valor máximo es donde iniciará el símbolo OFDM. Finalmente, como ya se conoce donde termina el preámbulo, se comienza a leer la señal que viene del transmisor desde donde inicio el preámbulo hasta donde termina los símbolos OFDM, con el fin de tener el preámbulo y los cuatro símbolos OFDM en una nueva variable.

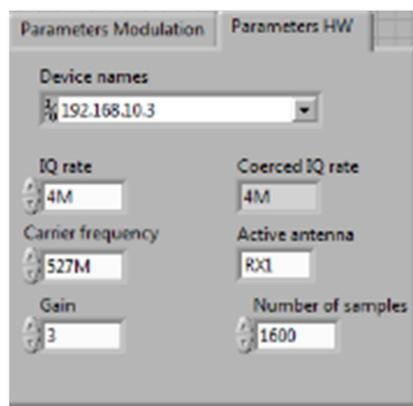
Esto se logra usando un pulso generado con la sincronización, se deriva del valor absoluto de las muestras complejas del símbolo, luego se llevan a un restador y un retardador, este ultimo esos valores un valor igual al tamaño útil del símbolo, luego estos dos valores se restan y se lleva a un integrador. Todo esto se lleva a un detector de valles, donde los valles representan el inicio de cada símbolo.

Primero se deben ingresar los parámetros correctos sobre el canal a analizar, con los cuales se obtendrán los valores y gráficas que determinan su nivel d calidad.



**Figura 49 Campos de parámetros para la modulación QAM**

Además se necesita configurar la dirección ip con la que trabaja el dispositivo USRP ya que si se ubica una dirección incorrecta el programa no correría, emitiendo un mensaje de que no hay conexión. Se ingresa en el campo IQ rate el número de muestras que se desea obtener, en Carrier frequency se ingresa la frecuencia del canal a analizar, y en active antenna se ubica el puerto de recepción que se ha tomado del NI-USRP.



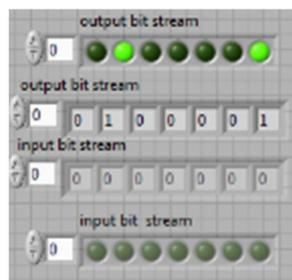
**Figura 50 Campos de parámetros del USRP y rango de frecuencias**

Como resultado después de ingresar los datos y poner a correr el programa sin ningún error, se obtiene el número de mapeos que fueron seleccionados en la figura, en este caso el número fue de 4 mapeos, y el número de bits que fueron receptados.



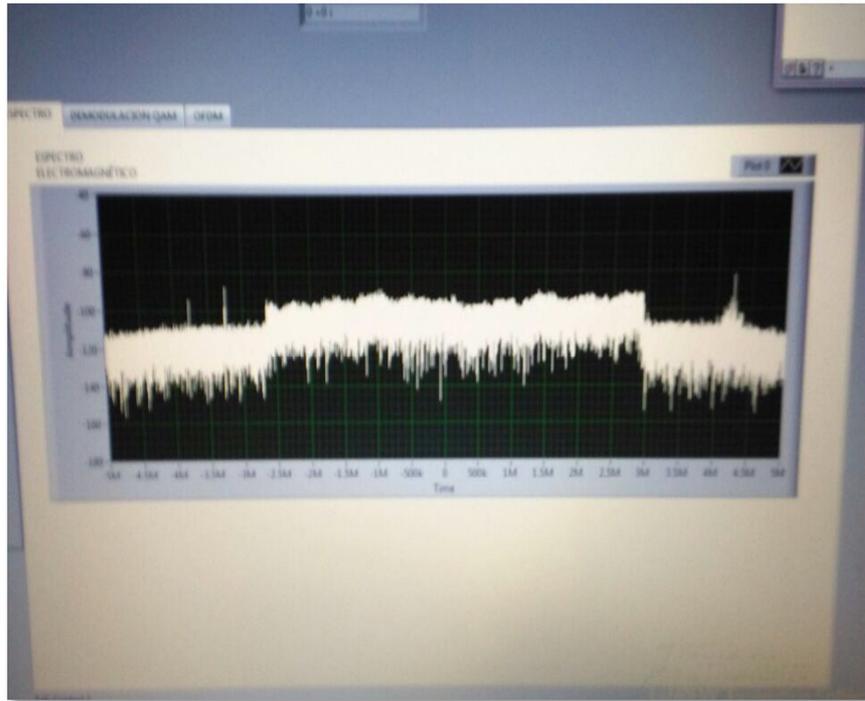
**Figura 51 Número de mapeos**

En la recepción de bits se realiza el proceso de prefijo cíclico, es decir los espacios vacíos se los rellenan con ceros; los cuales son removidos después de la sincronización.



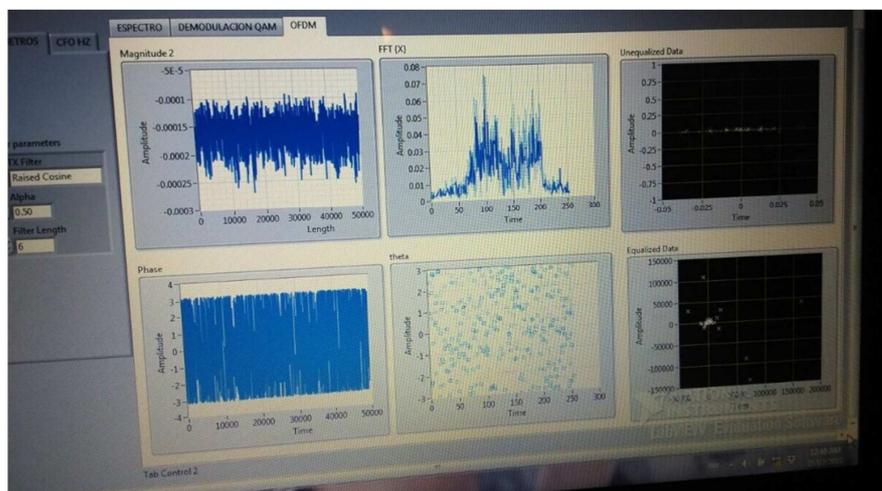
**Figura 52 Bits receptados**

El espectro electromagnético propio de una señal ISDB-Tb, es tal como se muestra en la siguiente figura con un ancho de banda de 6MHz.



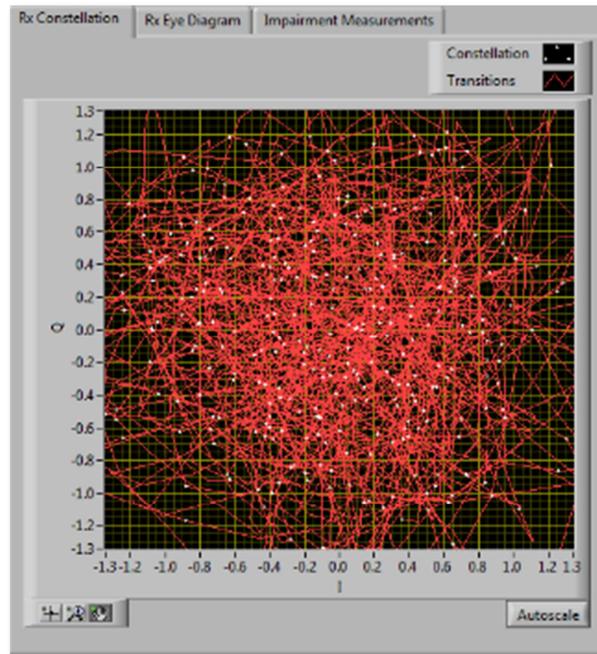
**Figura 53 Espectro electromagnético**

En el análisis OFDM se obtienen las gráficas de magnitud, fase, transformada de Fourier la cual lleva la señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.

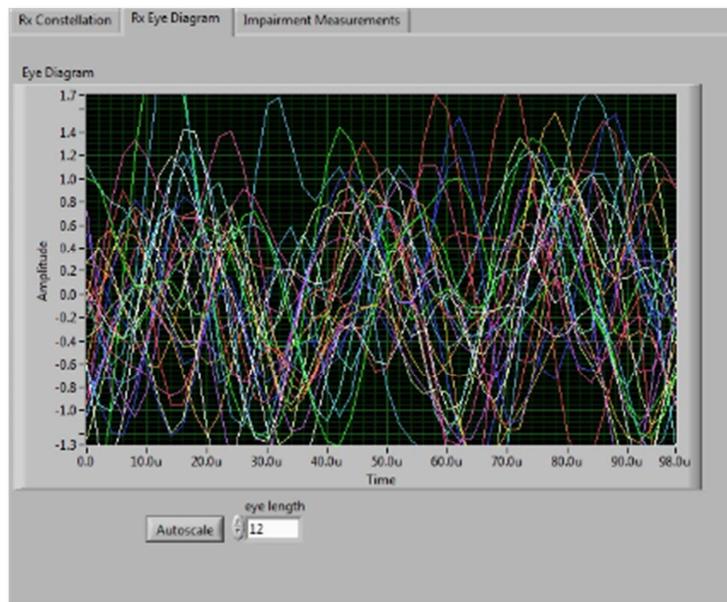


**Figura 54 OFDM en gráficas: Fourier, Theta, Magnitud, datos ecualizados y sin ecualizar**

En la pestaña de Demodulación QAM, se obtiene la constelación RX, la cual presenta el número de muestras ingresadas, el diagrama de ojo.



**Figura 55 Constelación de recepción**



**Figura 56 Diagrama de Ojo de la señal recibida**

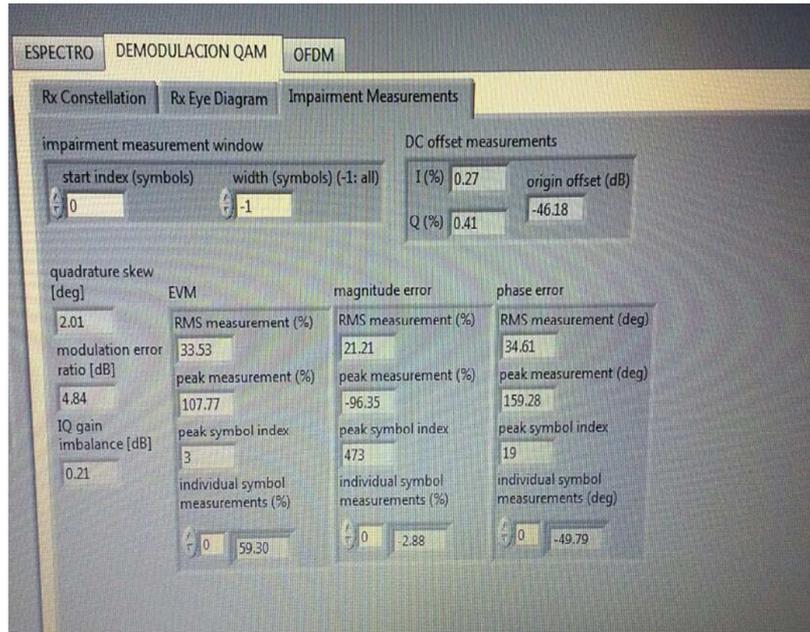


Figura 57 Valores de medición tales como, MER, EVM, Error de Fase.

The screenshot shows a 'TABLA DE VALORES' (Table of Values) with the following data:

	Column 1	Column 2	Column 3
0	NaN	NaN	NaN
0	8.09428	21.8364	NaN
	8.23935	21.6821	0.484
	8.78432	21.1258	0.468
	8.59392	21.3162	0.492
	9.85305	20.1286	0.56
	11.4852	18.7973	0.476
	13.4854	17.4027	0.528
	16.9335	15.425	0.484
	21.4525	13.3705	0.556
	29.5263	10.5958	0.464
	53.8954	5.36896	0.504
	62.3537	4.10276	0.48
	68.0316	3.34578	0.524
	65.2876	3.70339	0.508
	77.9529	2.16335	0.516
	86.2295	1.28688	0.556
	96.5654	0.303567	0.492

Figura 58 Tabla de valores almacenados en una matriz

El programa cuenta con un botón STOP, el cual permitirá detener el proceso y capturar los valores para almacenarlos en la matriz.



**Figura 59 Botón STOP**

En nuestro país no todas las televisoras transmiten señal en TDT, a continuación se detallan que canales se analizaron en este proyecto y la frecuencia en la que trabajan.

Los datos fueron obtenidos mediante un sintonizador ISDB-Tb.

N...	Nombre del canal	Frecuencia (KHz)
1	Ecuavisa HD	527143
2	Ecuavisa 1seg	527143
3	CANAL UN...	587143
4	CANAL UN...	587143
5	RTS-Movil	539143
6	TC OS	563143
7	Oromar OS	599143
8	TVS.F1Seg....	623143

**Figura 60 Tabla de frecuencias de principales canales ecuatorianos**

Los datos arrojados y las gráficas que se muestran por el analizador dependen mucho del lugar donde se encuentre la antena receptora, ya que si se encuentra en lugares donde hay cerros o edificios que obstaculicen la recepción, la señal no tendrá buena calidad, es decir que la imagen a observar en el televisor no será tan nítida.

Durante éste capítulo se pudo observar que se utilizó un sincronizador diferencial de prefijo cíclico el cual es de gran ayuda ya que no necesita de una señal patrón para sincronizar, éste método es un sincronizador preciso en presencia de sobremuestreo, el procesamiento es relativamente fácil.

Una de las desventajas es que no detecta el inicio de trama y requiere algoritmos extras para la detección del inicio de trama.

## CONCLUSIONES

En este proyecto se exploraron las técnicas de recepción, ecualización y sincronización necesarias para establecer un sistema de comunicaciones empleando OFDM sobre un sistema reconfigurable en Hardware. Hay que destacar que los principales problemas se encuentran en la precisión del algoritmo de sincronización, y en el establecimiento de un correcto diseño del símbolo OFDM, es decir, seleccionar el tiempo de duración de símbolo menor al tiempo de coherencia  $T_c$  del canal, la separación entre las portadoras piloto debe ser menor al ancho de banda coherente del canal, y porcentaje de prefijo cíclico debe ser superior a la dispersión temporal del canal.

Este sistema de recepción de señal ISDB-Tb bajo multiplexación OFDM es de gran aporte debido a que es una tecnología que se está implementando en el país y que no todos la conocen, al tener un software en el cual pueden realizar pruebas sobre niveles de calidad, análisis del estándar, tipos de correlación, un sin fin de actividades se pueden realizar con este sistema, además de las virtudes tecnológicas que nos ofrece el equipo NI-USRP.

Finalmente se logra con el desarrollo de la tesis ampliar los conocimientos sobre las materias estudiadas durante todo el curso en la carrera de Ingeniería Electrónica con mención en Telecomunicaciones.

## RECOMENDACIONES

Los autores del proyecto recomiendan que se siga con las investigaciones sobre este estándar, ya que no solamente se puede medir parámetros que confirman el nivel de calidad, sino que además se puede capturar la cantidad de bits que surgen de la recepción y transformarlas en audio o video. Otra de las aplicaciones que se pueden desarrollar es un sistema interactivo entre TDT y el usuario, las cuales pueden ser de gran ayuda a establecimientos escolares en las que desean el crecimiento de motivación entre los estudiantes.

Una vez que se estén realizando pruebas, los estudiantes deben verificar primero que las librerías estén instaladas para poder utilizar los elementos dentro del software LabVIEW, además cuando ya se encuentren conectando la parte física deberían verificar el tipo de cable, antena y los valores que ingresen como configuración sean los correctos ya que el mínimo error podría mostrar gráficas diferentes y se pueden interpretar erróneamente.

Deben regirse de acuerdo a las normas que dicta la Superintendencia de Telecomunicaciones para ponderar rango de valores.

## CRONOGRAMA

La tesis se desarrolló de acuerdo al siguiente cronograma:

ACTIVIDADES	DISTRIBUCIÓN TEMPORAL																											
	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Entrega, revisión y corrección de anteproyecto de Tesis																												
Denuncia del trabajo de tesis y pago del derecho																												
FASE I																												
FASE II																												
FASE III																												
FASE IV																												
FASE V																												
FASE VI																												
FASE VII																												
FASE VIII																												
FASE IX																												
FASE X																												
Entrega de Tesis y Sustentación Oral																												

FASE I.- Introducción, investigación y desarrollo teórico.

- Conceptos básicos.
- Selección de información.
- Esquema Capitular.
- Marco Teórico.

- Hipótesis.

FASE II.- Desarrollo de capítulos y adquisición de instrumentos.

FASE III.- Capacitación y pruebas con USRP.

FASE IV.- Programación del Analizador en Labview.

FASE V.- Pruebas iniciales de la aplicación y desarrollo de formatos de prácticas.

- Práctica 1: Frecuencia de transmisión.
- Práctica 2: Potencia de transmisión.
- Práctica 3: PER
- Práctica 4: Nivel de Intensidad de Campo.
- Práctica 5: Voltaje en el Receptor.
- Práctica 6: MER y B.ER.
- Práctica 7: Ancho de Banda del enlace.
- Práctica 8: Medición Señal a Ruido.

FASE VI.- Recolección y procesamiento de la información.

FASE VII.- Corrección y verificación de errores.

FASE VIII.- Pruebas finales del prototipo.

FASE IX.- Elaboración de reseña escrita, anexos y tablas varias.

FASE X.- Fase Final.

- Elaboración y entrega de borrador final de Tesis.
- Predefensa y corrección de señalamientos.

## PRESUPUESTO

DESCRIPCION	PRECIO
<b>EQUIPOS Y MATERIALES</b>	
Sintonizador	\$ 70
Cable Coaxial y Conectores	\$ 40
Adaptador GigaEthernet	\$ 50
Laptop Toshiba	\$ 600
<b>SOFTWARE Y CAPACITACIONES</b>	
Seminarios de Programación en Labview Avanzado	\$ 500
Seminarios de Programación de USRP	\$ 500
<b>SUMA TOTAL</b>	<b>\$ 1760</b>

## REFERENCIAS

Mediatelecom Policy & Law (Junio de 2013). Cuando el futuro nos alcance: *La Televisión Digital en América Latina*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2014, de <http://www.mediatelecom.com.mx/~mediacom/media/pdf/cuando%20el%20futuro%20nos%20alcance.pdf>

DTV STATUS. (Última actualización: Febrero de 2015) ATSC, DTMB, DVB-T/DVB-T2 e ISDB-T. Recuperado el 14 de Febrero de 2015, de <http://es.dtvstatus.net/>

DiBEG. Reporte técnico de ARIB, Digital Broadcasting Experts Group. Recuperado el 14 de Febrero de 2015, de <http://www.dibeg.org/>

DiBEG. Reporte técnico de ARIB – Anexo AA, Digital Broadcasting Experts Group. Recuperado el 15 de Febrero de 2015, de <http://www.dibeg.org/>

DiBEG. Reporte técnico de ARIB – Anexo BB, Digital Broadcasting Experts Group. Recuperado el 15 de Febrero de 2015, de <http://www.dibeg.org/>

National Instruments Latinoamérica. NI-USRP. Recuperado el 1 de Diciembre de 2014, de <http://www.ni.com/usrp/esa/>

Ing. Néstor Oscar Pisciotta (Septiembre de 2010). Sistema ISDB-Tb (Primera Parte). Recuperado el 2 de Diciembre de 2014, [http://www2.elo.utfsm.cl/~elo341/SistemaISDB\\_Tb.pdf](http://www2.elo.utfsm.cl/~elo341/SistemaISDB_Tb.pdf)

Predict your TV viewing quality with ISDB-Tb RF Monitoring, Febrero del 2011.

<http://www.tek.com/document/application-note/predict-your-tv-viewing-quality-isdb-tb-rf-monitoring>

ARCOTEL (Marzo 2010). Informe para la definición e implementación de la Televisión Digital Terrestre en Ecuador. Recuperado el 2 de Diciembre, de <http://www.arcotel.gob.ec/>

# ANEXOS

## ANEXO 1

Comparación técnica entre los estándares de TDT

	ATSC	ISDBT	DVB-T/H	SBTV-D-T	DMB-T
<b>Compatibilidad con cable y satelital</b>	No	Si	Si	Si	No
<b>Codificación</b>	MPEG-2	MPEG-2 MPEG-4 en desarrollo	MPEG-2 MPEG-4	MPEG-2 MPEG L2 MPEG 4	MPEG-2 MPEG-4
<b>Interactividad desarrollada</b>	No	No	Si	Si	Si
<b>Movilidad</b>	No implementada	Si	Si	Si	Si
<b>Tipo de terminales en entorno móvil</b>	No implementada	Portables (con alimentación externa)	Portables Celular	Portables (con alimentación externa) Celular	Portables Celular Reproductores multimedia
<b>Consumo de batería en aparatos celulares</b>	N/A	N/A	Bajo	N/A	Medio
<b>Compatibilidad con GSM/WCDMA</b>	No	No	Si	No	
<b>Canales de TV en celulares</b>	0	1	Hasta 30	1	15
<b>Carga Digital</b>	Fija 19 Mbps	En DVB-T el flujo binario es variable entre 4.98 y 31.67 Mb/s.	Variable 3-23 Mbps	En un canal de 6MHz, la tasa de transmisión puede variar entre 3.65Mbps y 23.23 Mbps	Variable de 4-28 Mbps en canal de 8MHz
<b>Redes Frecuencia Única</b>	Solución propietaria en experimentación	Si	Si, varias implementaciones	Si	Si

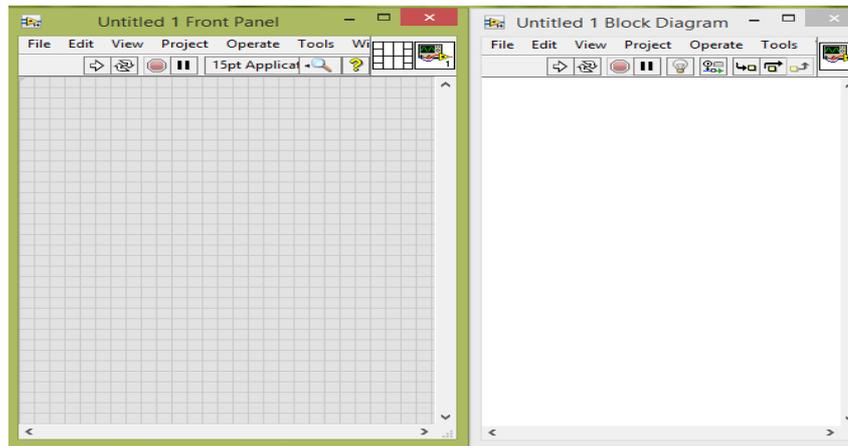
	ATSC	ISDBT	DVB-T/H	SBTV-D-T	DMB-T
<b>Canales de Alta Definición</b>	1	1/2	1/2	1	1
<b>Recepción HDTV mientras se está en movimiento</b>	Imposible	Posible	Imposible (solo con SDTV)	Posible	Posible
<b>Recepción portátil utilizando el mismo sistema que recepción fija</b>	Imposible	Posible	Imposible	Posible	-
<b>Sistema de alerta de Radiodifusión</b>	Imposible	Posible	Imposible	Posible	-
<b>Ancho del Canal</b>	Diseñada para un canal de 6 MHz de ancho de banda –No restrictivo-	Cualquier servicio es posible en 6 MHz de ancho de Banda	Diseñada para canales de 8 MHz (Aplicable también a 7 y 6 MHz)	Diseñada para un canal de 6 MHz de ancho de banda	Trabaja en anchos de banda de 6 y 8 MHz
<b>Modulación</b>	8-VSB para transmisión por aire (bit rate neto: 19.3 Mbps)	Los varios aspectos de ISDB difieren principalmente en las modulaciones usadas ISDB-T (en bandas VHF y/o UHF) utiliza COFDM con PSK/QAM	Modulación QPSK o diferentes niveles de QAM	DQPSK QPSK 16-QAM 64-QAM	TDS-OFDM (Time Domain Synchronous OFDM) – 8VSB, el primero para modulación en definición estándar y el segundo para alta definición (HDTV)

	ATSC	ISDBT	DVB-T/H	SBTVD-T	DMB-T
<b>Video</b>	Muestro 4:2:0 8 bits de resolución Tipo de frames: I, P, B MP@ML (Main Profile at Main Level) para SD MP@HL (Main Profile High Level) para HD. Formatos SD y HD		Compresión MPEG-2 MP@ML (Main Profile at Main Level) Muestro 4:2:0 8 bits de resolución Tipo de frames: I, P, B Variedad de resoluciones para elegir	H.26418 encapsulado en un flujo de transporte MPEG-2	Compresión MPEG-4 u MPEG-2, siendo la compresión y descompresión diferentes en el MPEG-4, debido a que las imágenes vienen separadas en componentes de video-objetos (VOC)
<b>Audio</b>	Sonido multicanal: 1, 2, 3, 4 o 5.1 canales Formato 5.1: 6 canales en total Tamaño de la palabra 16 a 24 bits. Frecuencia de muestreo: 48kHz Bit rates desde 32 a 640 Kbps por cada trama elemental	Ha adoptado el sistema de compresión de video MPEG-2	Compresión MPEG LaYer II (MUSICAM) puede manejar audio, mono, estéreo, multilinguaje surround Bit rates de 32 a 384 Mbps. Fue incorporado el Dolby AC-3 con posterioridad debido a su creciente aceptación mundial.	ACC encapsulado en flujo de transporte MPEG-2	Estándar DTMB utiliza la compresión en MPEG-2 y AVS (Audio Video Standard)

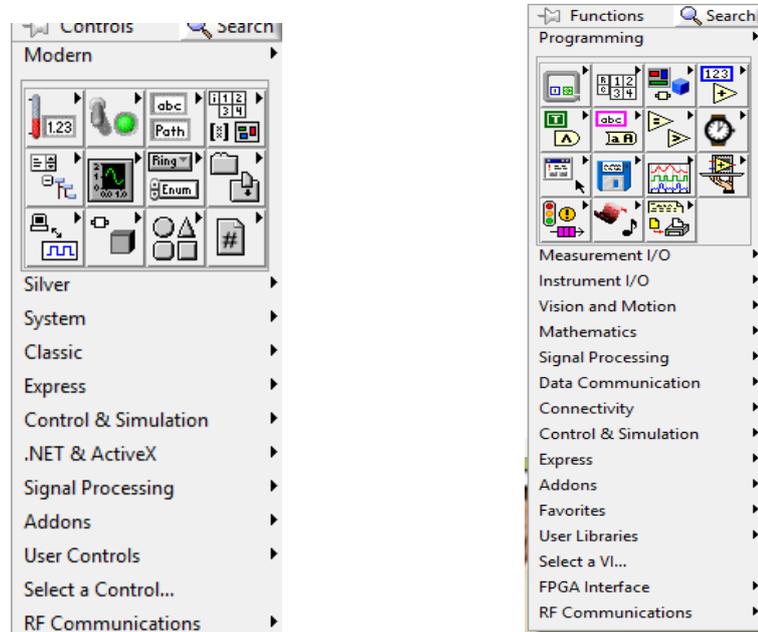
## ANEXO 2

### PARTES BÁSICAS DE LA INTERFÁZ GRÁFICA DE LABVIEW

#### Paneles Frontales



#### Paleta de controles y de funciones



Fuente, LabVIEW 2014

# ANEXO 3

## DATA SHEET USRP



Technical Sales  
(800) 531-6285  
orders@ni.com

[Requirements and Compatibility](#) | [Ordering Information](#) | [Detailed Specifications](#)  
For user manuals and document downloads, visit the product page resources tab on the left.

Last Revised: 2013-05-03 10:28:55.8

### NI USRP-292x/293x Datasheet

#### Universal Software Radio Peripherals



- Affordable, rapid prototyping solution
- Tunable RF transceivers options covering 50MHz – 6GHz
- Stream up to 25MS/s baseband I/Q for live host-based processing with LabVIEW
- Integrated GPS that improves clock precision and enables global device synchronization and position for NI USRP-293x

- Plug-and-play MIMO synchronization
- Reference design examples for record & playback, physical layer communication, spectrum monitoring, and spectral monitoring
- NI technical support and 1-year extendable warranty

#### Overview

NI USRP-292x software-programmable radio transceivers are designed for wireless communications teaching and research. Programmable with NI LabVIEW software, the USRP hardware is an affordable and easy-to-use RF platform for rapid prototyping applications such as record & playback, physical layer communication, spectrum monitoring, and more. With the ability to transmit and receive RF signals across a wide range of frequencies with up to 40 MHz of real-time bandwidth and plug-and-play MIMO support, the NI USRP enables a broad range of RF/communications applications covering common standards such as broadcast radio, digital TV, GSM Cellular, GPS, 802.11 (WiFi) and ZigBee®. LabVIEW brings increased productivity with an intuitive graphical programming approach, and m-file script compatibility enabling development of algorithms for physical layer communications. The NI USRP-293x has an integrated GPS-disciplined clock that provides improved frequency accuracy, synchronization capabilities, and GPS position information.

[Back to Top](#)

#### Requirements and Compatibility

##### OS Information

- Windows 7 32-bit
- Windows 7 64-bit
- Windows Vista
- Windows XP

##### Driver Information

- NI-USRP

##### Software Compatibility

- LabVIEW

[Back to Top](#)

#### Comparison Tables

Model	Frequency	GPS-Disciplined	Freq. Accuracy (No GPS Antenna)
NI USRP-2920	50 MHz to 2.2 GHz	No	2.5 ppm
NI USRP-2921	2.4 to 2.5 GHz and 4.8 to 5.9 GHz	No	2.5 ppm
NI USRP-2922	400 MHz – 4.4 GHz	No	2.5 ppm
NI USRP-2930	50 MHz – 2.2 GHz	Yes	25 ppb
NI USRP-2932	400 MHz – 4.4 GHz	Yes	25 ppb

Figure 2. NI-USRP-2920 System Block Diagram

### LabVIEW Software and the NI-USRP Driver

The LabVIEW development system provides an ideal way to interface with NI-USRP hardware for the development and exploration of communications algorithms that process received signals and synthesize signals for transmission. The NI-USRP software driver provides functions (LabVIEW VIs) for the hardware / software configuration with tools for opening / closing sessions and performing read/write operations.

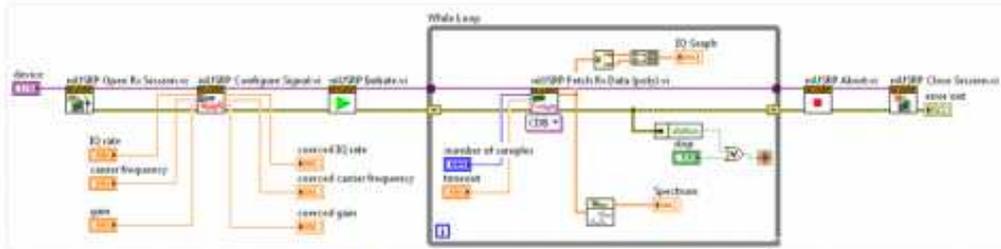


Figure 3. Continuous Receive Using NI-USRP Driver in LabVIEW Software

### LabVIEW Modulation Toolkit

The LabVIEW Modulation Toolkit extends LabVIEW with VIs for rapid development of communications systems for simulation or to operate on live signals associated with NI-USRP hardware. On the transmit side, included VIs provide functionality for PN-sequence generation, channel coding, and baseband modulation. Receiver-side functionality includes demodulation, equalization, channel decoding and more. Included utilities enable the addition of baseband impairments, BER measurement, modulation domain measurements, and communications-oriented visualization. An entire communication system can be simulated and analyzed with channel impairments and then updated to transmit / receive live signals.

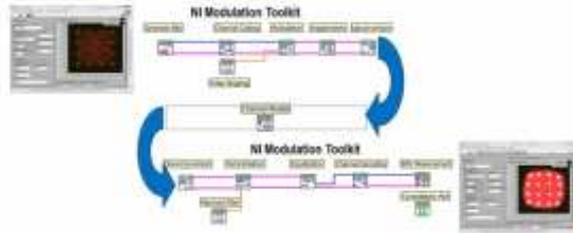


Figure 4. LabVIEW Modulation Toolkit

### LabVIEW MathScript RT Module

With the LabVIEW MathScript RT Module, you can efficiently execute .m file syntax in a LabVIEW diagram to combine both graphical and textual models of computation. In addition, you can design and implement communications algorithms using the popular .m file script syntax.

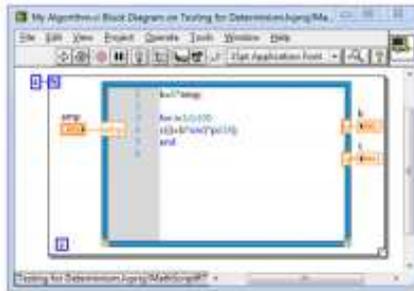
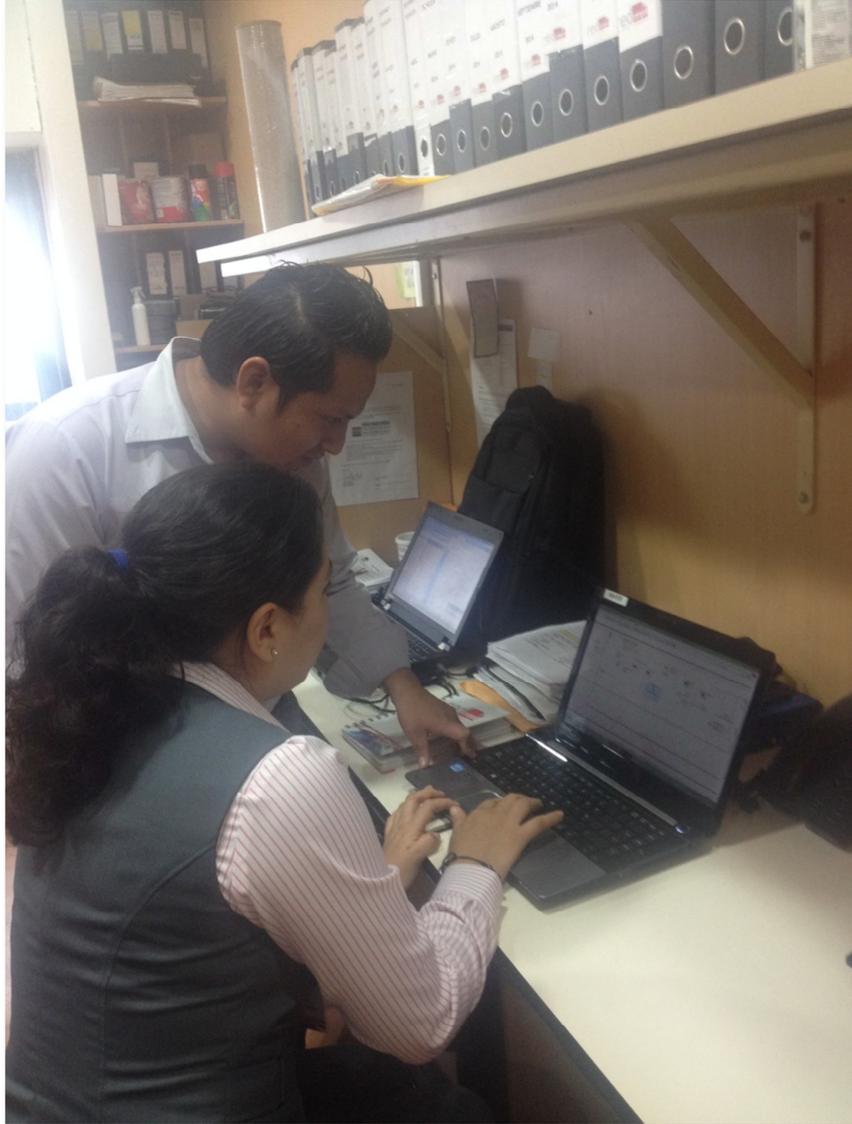


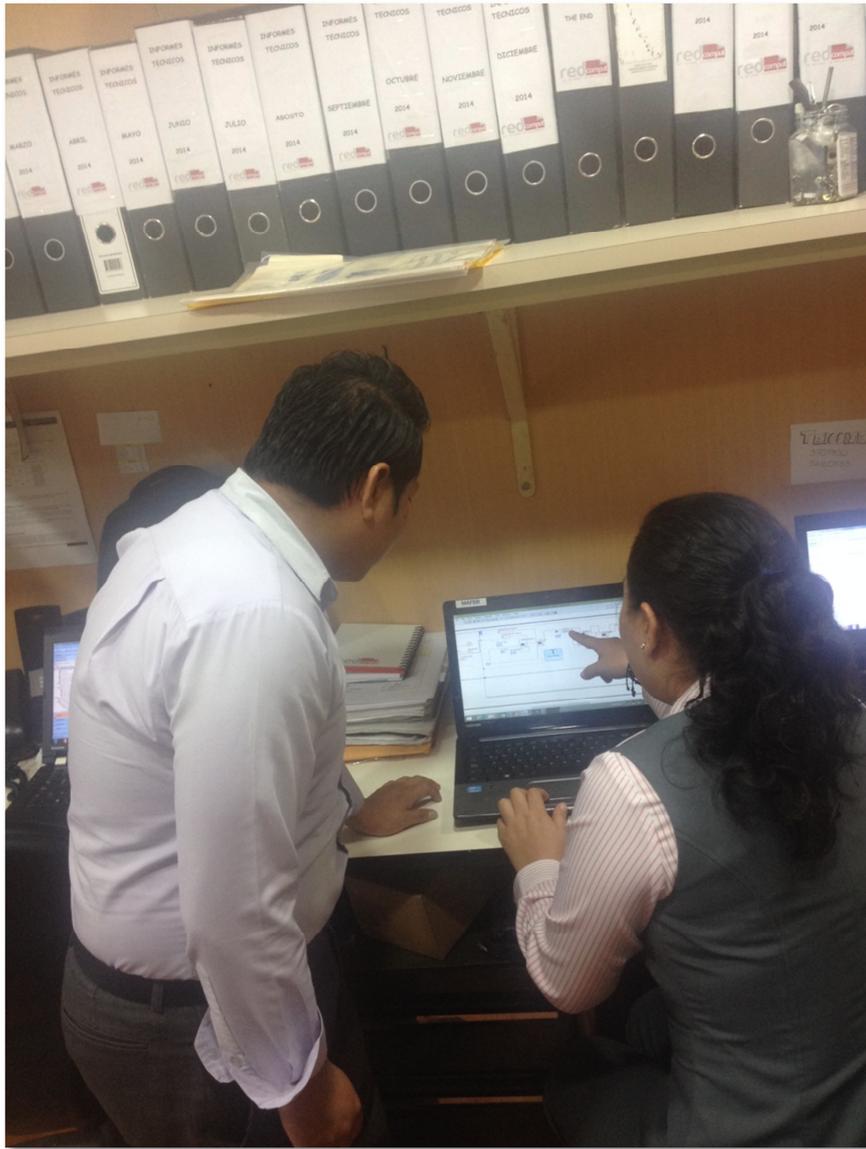
Figure 5. A LabVIEW MathScript RT Node inside a LabVIEW For Loop

[Back to Top](#)

## ANEXO 4

### ENTREVISTA AL ING. RAFAEL SANDOVAL DE TELEAMAZONAS

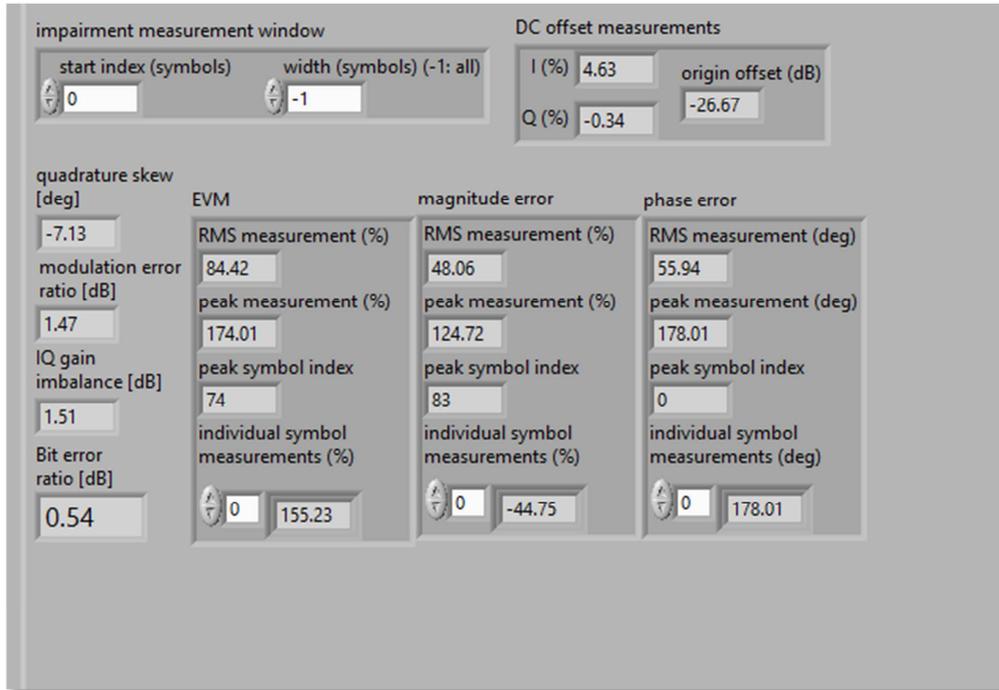




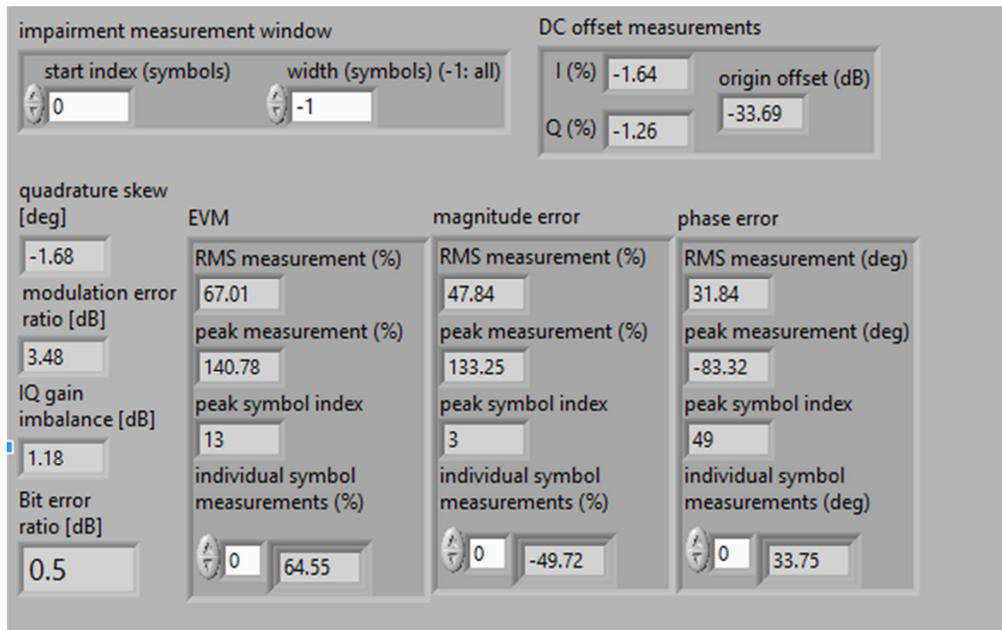
## ANEXO 5

### TABLA DE COMPARACIONES

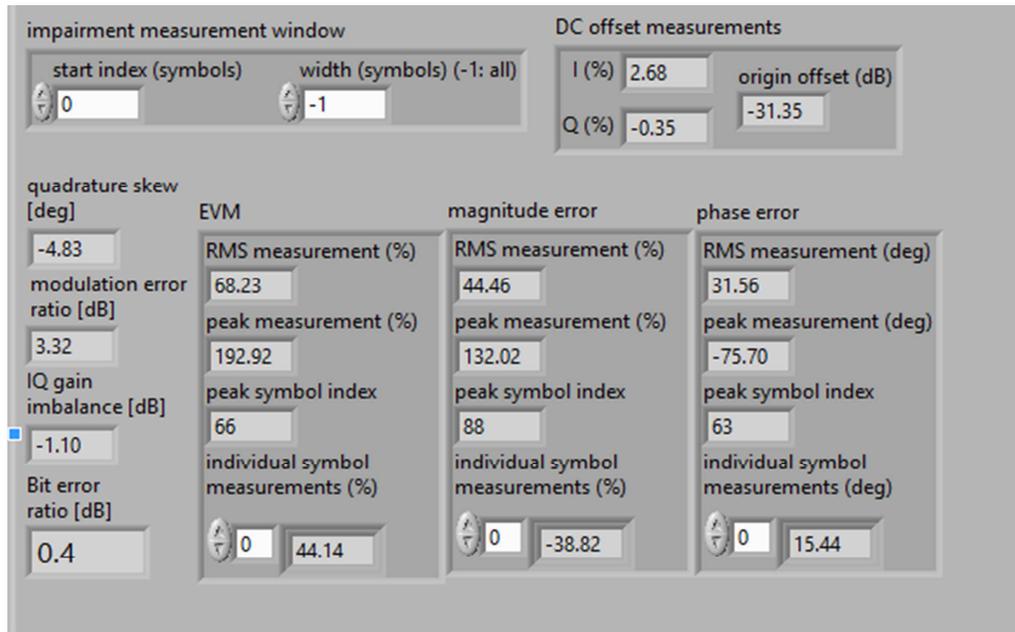
- ECUAVISA 527.43MHz



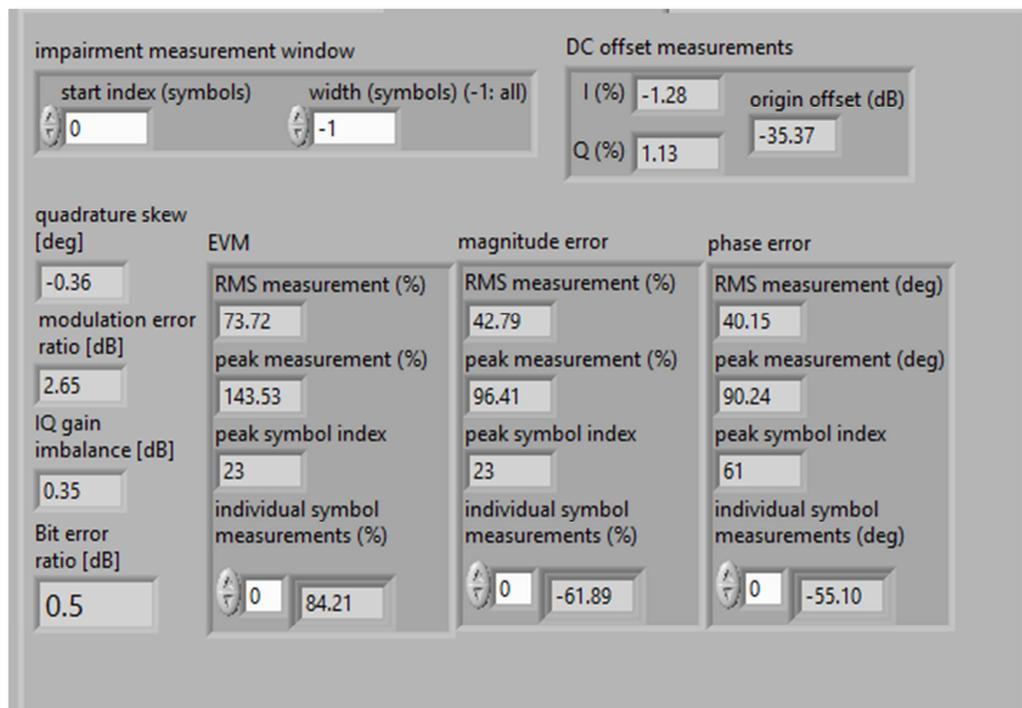
- CANAL UNO 587.43MHz



- **TC TELEVISIÓN 563.143MHz**



- **TELEVISIÓN DIGITAL 623.143MHz**



- TELEAMAZONAS 551.142MHz

The screenshot displays a software interface for impairment measurements. It is organized into several sections:

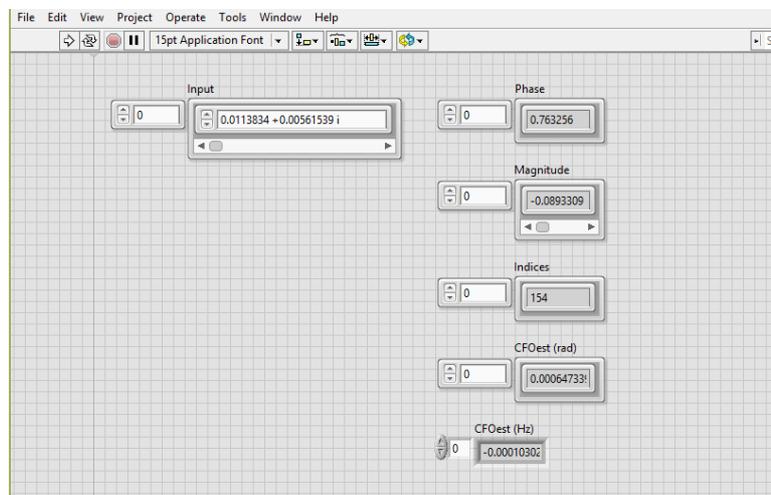
- impairment measurement window:** Contains controls for 'start index (symbols)' (set to 0) and 'width (symbols) (-1: all)' (set to -1).
- DC offset measurements:** Shows 'I (%)' at 1.99, 'Q (%)' at 0.24, and 'origin offset (dB)' at -33.95.
- quadrature skew [deg]:** A single value of 7.05.
- modulation error ratio [dB]:** A value of 4.66.
- IQ gain imbalance [dB]:** A value of 0.70.
- Bit error ratio [dB]:** A value of 0.44.
- EVM (Error Vector Magnitude):**
  - RMS measurement (%): 58.48
  - peak measurement (%): 135.56
  - peak symbol index: 102
  - individual symbol measurements (%): 0 (with a sub-value of 53.87)
- magnitude error:**
  - RMS measurement (%): 46.78
  - peak measurement (%): 124.47
  - peak symbol index: 102
  - individual symbol measurements (%): 0 (with a sub-value of -38.59)
- phase error:**
  - RMS measurement (deg): 22.46
  - peak measurement (deg): 56.07
  - peak symbol index: 55
  - individual symbol measurements (deg): 0 (with a sub-value of -27.75)

## ANEXO 6

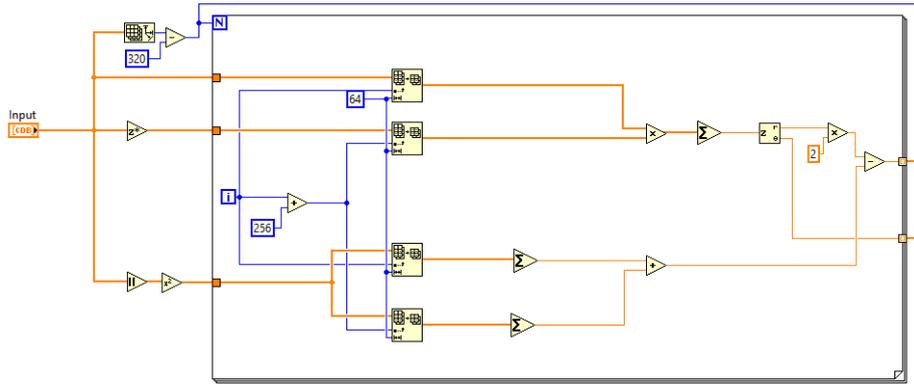
### PRÁCTICAS

#### PRÁCTICA 1.- SINCRONIZADOR POR PREFIJO CÍCLICO

En ésta práctica se aprecia el procedimiento lógico que se le debe realizar a la señal para lograr este tipo de sincronización, se debe tener en cuenta que la señal de entrada es la que señal compleja que viene del prefijo cíclico desde el transmisor, el tamaño útil de símbolo es 256 muestras. La salida de este sincronizador arroja las posiciones donde inicia cada símbolo OFDM.

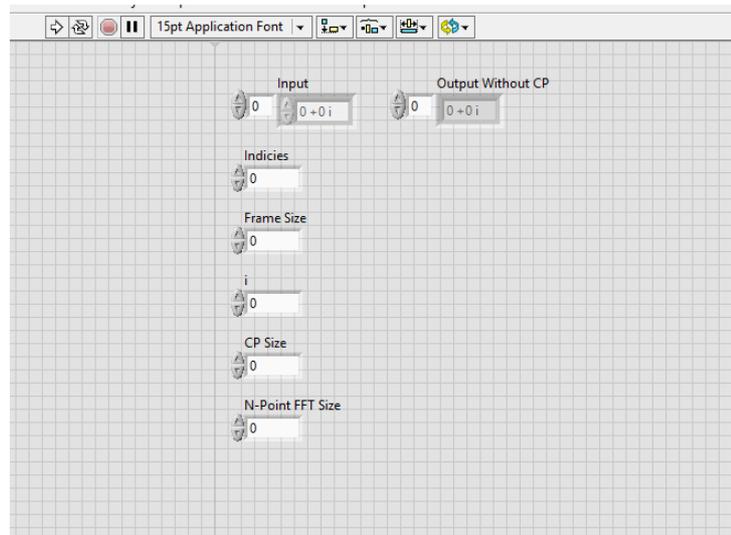


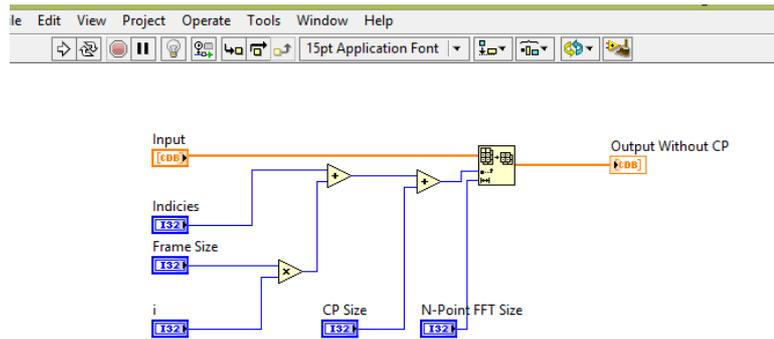
Este tipo de sincronización se logra usando un pulso generado con la sincronización, se deriva del valor absoluto de las muestras complejas del símbolo, luego estos valores se llevan a un restador y un retardador, este ultimo esos valores un valor igual al tamaño útil del símbolo, luego estos dos valores se restan y se lleva a un integrador, se lleva a un detector de valles, donde valles representan el inicio de cada símbolo.



## PRÁCTICA 2.- REMOCIÓN DE PREFIJO CÍCLICO

Este módulo recibe la señal sincronizada representada como un vector. Este vector se divide en una matriz de cinco filas y 320 columnas, donde las filas representan los cuatro símbolos y el símbolo preámbulo y las columnas representan la longitud total del símbolo. Finalmente, se suprimen las primeras 64 muestras de cada símbolo.

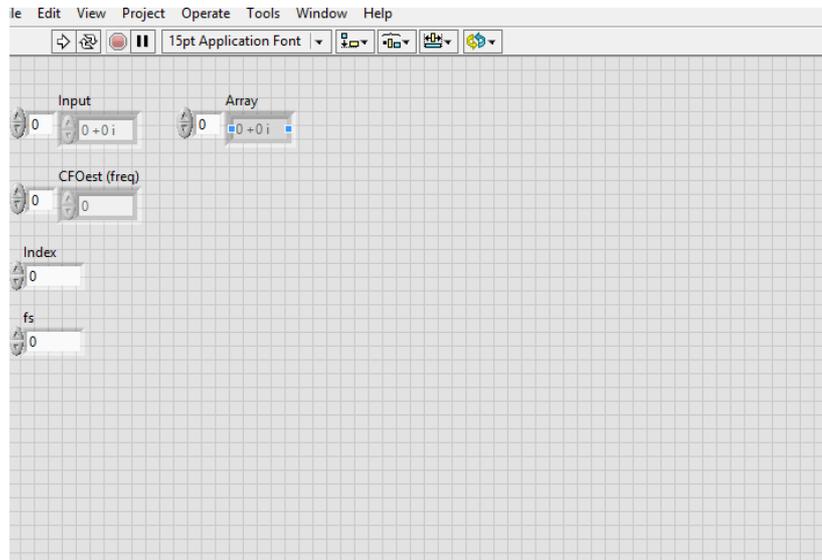


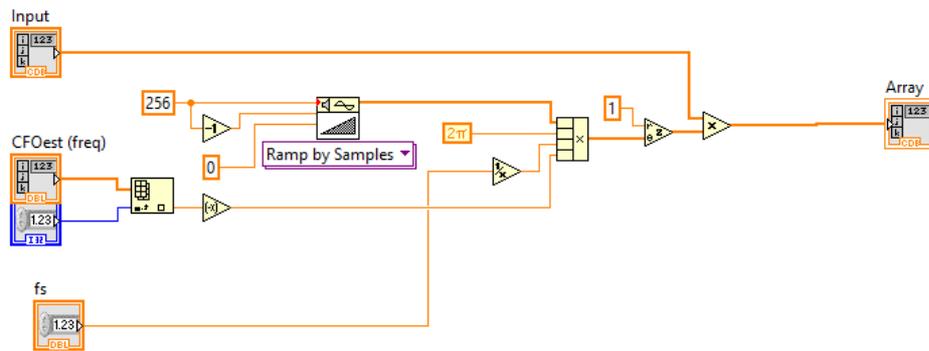
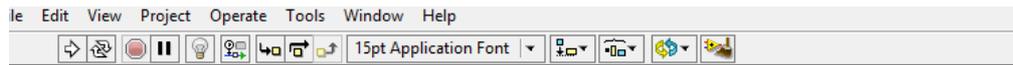


### PRÁCTICA 3.- DESCOMPOSICIÓN DE LA TRAMA

Se descompone cada uno de los cuatro símbolos de la siguiente manera:

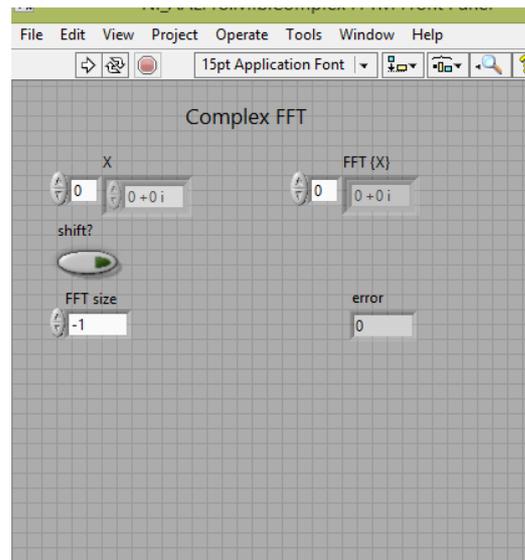
Datos son las 189 portadoras de datos de cada símbolo; pilotos son las 22 portadoras pilotos de cada símbolo OFDM; guarda son las 45 portadoras de guarda de cada símbolo.

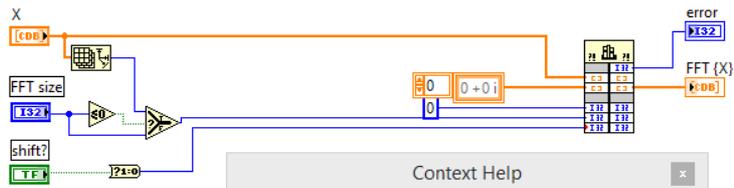




#### PRÁCTICA 4.- TRANSFORMADA DE FOURIER

En este módulo cada símbolo se pasa del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia mediante la transformada de Fourier.





**Context Help**

**Call Library Function Node**

The diagram shows the Call Library Function Node with the following ports:
 

- path in**: Input for the library path.
- error in (no error)**: Input for an error flag.
- param 1**: Input for the first parameter.
- param 2**: Input for the second parameter.
- ...**: Input for additional parameters.
- path out**: Output for the library path.
- error out**: Output for an error flag.
- return value**: Output for the function's return value.
- param 1 output**: Output for the first parameter's result.
- param 2 output**: Output for the second parameter's result.
- ...**: Output for additional parameters' results.

Calls a DLL or shared library function directly.

[Detailed help](#)