



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E**  
**INDUSTRIAL**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES**

**Tema:**

---

*“SIMULACIÓN DE LA CAPA FÍSICA DEL ESTÁNDAR DVB-T2, UTILIZADO EN TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE”*

---

*Trabajo de Graduación Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.*

**SUBLINEA DE INVESTIGACIÓN:** Protocolos de comunicación

**AUTORA:** Erika Giovanna Montesdeoca Ipiales

**PROFESOR REVISOR:** Ing. MSc. Carlos Alberto Serra Jiménez

**Ambato – Ecuador**

Mayo 2016

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del trabajo de investigación sobre el tema: “SIMULACIÓN DE LA CAPA FÍSICA DEL ESTÁNDAR DVB-T2, UTILIZADO EN TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE” de la señora Erika Giovanna Montesdeoca Ipiales, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones , de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe de investigación reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el Art. 16 del Capítulo II, del Reglamento de Graduación para Obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Mayo 2016

## **EL TUTOR**

---

Ing. MSc. Carlos Alberto Serra Jiménez

## **AUTORÍA**

El presente trabajo de investigación titulado “SIMULACIÓN DE LA CAPA FÍSICA DEL ESTÁNDAR DVB-T2, UTILIZADO EN TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE” es absolutamente original, auténtico y personal en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicas que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Mayo 2016

---

Erika Giovanna Montesdeoca Ipiales

Cc: 160038769-8

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato, Mayo 2016

-----  
Erika Giovanna Montesdeoca Ipiales

Cc: 160038769-8

## **APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA**

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes, Ing. Marco Jurado Lozada Mg. e Ing. Juan Pablo Pallo Mg. aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado “SIMULACIÓN DE LA CAPA FÍSICA DEL ESTÁNDAR DVB-T2, UTILIZADO EN TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE” presentado por la señorita Erika Giovanna Montesdeoca Ipiales de acuerdo al Art. 17 del Reglamento de Graduación para obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

.....

Ing. Vicente Morales Mg.  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....

Ing. Marco Jurado Lozada Mg.  
DOCENTE CALIFICADOR

.....

Ing. Juan Pablo Pallo Mg.  
DOCENTE CALIFICADOR

## **DEDICATORIA**

*A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su apoyo incondicional, ya que por sus ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan me han permitido cumplir cada una de las metas que me he planteado.*

*A mi esposo quien me brindó su amor, su cariño, su estímulo y su apoyo constante, para que pudiera graduarme. Y a mi hijo quien es el motivo de superación en la vida profesional.*

Erika Giovanna Montesdeoca Ipiales

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.*

*A la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.*

*De igual manera agradecer al Ing. Carlos Serra por su visión crítica, por su rectitud en su profesión como docente, por sus consejos, que supieron guiarme de la mejor manera para llegar a la culminación de este trabajo.*

*A las personas que me brindaron su apoyo durante toda mi carrera, mi familia, mi esposo, amigos y compañeros.*

Erika Giovanna Montesdeoca Ipiales

## ÍNDICE GENERAL

<b>CONTENIDOS</b>	<b>PÁGINAS</b>
PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR .....	II
AUTORÍA .....	III
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE GENERAL .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT.....	xvi
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	xxi
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>EL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1. Tema .....	1
1.2. Planteamiento del Problema .....	1



1.3. Delimitación.....	3
1.4. Justificación .....	3
1.5. Objetivos.....	4
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>6</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
2.1. Antecedentes Investigativos .....	6
2.2. Fundamentación Teórica.....	7
2.2.1 Televisión Analógica .....	7
2.2.2 Televisión Digital.....	11
2.2.3 Televisión Analógica vs Televisión Digital.....	16
2.2.4 Ventajas y desventajas de la TDT.....	17
2.2.5 Estándar ISDB-T.....	22
2.2.6 Estándar DVB-T .....	28
2.2.7 Estándar DVB-T2 .....	32
2.2.8 Cuadro Comparativo ISDB-T, DVB-T y DVB-T2.....	36
2.2.9 Software Matlab.....	37
2.3. Propuesta de Solución.....	40
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>42</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>42</b>
3.1 Modalidad de la Investigación.....	42

3.1.1 Investigación Analítica.....	42
3.1.2 Investigación Documental Bibliográfica.....	42
3.2 Recolección de Información .....	43
3.3 Procesamiento y Análisis de Datos.....	43
3.4 Desarrollo del Proyecto .....	44
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>45</b>
<b>PROPUESTA .....</b>	<b>45</b>
4.1 Análisis de Factibilidad .....	45
4.2 Estructura del estándar DVB-T2 [22].....	46
4.3 Capa Física del estándar DVB-T2 .....	47
4.4 Análisis del diagrama de Bloques del estándar DVB-T2 .....	49
4.5 Entrelazado de Bits, Modulación y Codificación .....	50
4.5.1 Codificación de Canal .....	50
4.5.2 Entrelazado de bits .....	55
4.5.3 Mapeo de Bits a Constelación .....	57
4.5.4 Rotación de Constelación y Retardo Q-cíclico .....	61
4.6 Construcción de la Trama de la señal OFDM.....	62
4.7 Generador de la Señal OFDM .....	63
4.7.1 Inserción de pilotos .....	64
4.7.2 IFFT (Inverse Discrete Fourier Transform) .....	66
4.7.3 Intervalo de Guarda .....	69

4.8 Canal.....	69
4.9 Desarrollo de la Simulación de la Capa Física del estándar DVB-T2 utilizado en Televisión Digital Terrestrel en el Software Matlab .....	72
4.9.1 Diagrama de Flujo del programa elaborado .....	72
4.9.3 Resultados de la Simulación.....	75
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>80</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>80</b>
5.1 CONCLUSIONES .....	80
5.2 RECOMENDACIONES.....	81
ANEXOS .....	86
ANEXO 2 .....	93
ANEXO 3 .....	123
ANEXO 4 .....	129

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINAS
<b>Figura 2.1:</b> Espectro de un canal de televisión analógico monocromático con audio monofónico según el sistema NTSC.....	8
<b>Figura 2.2:</b> Espectro de un canal de televisión analógica a color con audio monofónico según el sistema NTSC .....	8
<b>Figura 2.3:</b> Espectro de un canal de televisión analógico a color con audio estéreo según el sistema NTSC .....	9
<b>Figura 2.4:</b> Número de programas por canal radioeléctrico .....	18
<b>Figura 2.5:</b> Calidad de audio de TDT frente a la televisión analógica. ....	19
<b>Figura 2.6:</b> Doble imagen, efecto persiana y nieve respectivamente. ....	20
<b>Figura 2.7:</b> Comportamiento de la TDT respecto al MER .....	22
<b>Figura 2.8:</b> Características Técnicas del estándar ISDB-T de TDT .....	24
<b>Figura 2.9:</b> Estructura del estándar ISDB-T .....	25
<b>Figura 2.10:</b> DQPSK Differential QPSK .....	27
<b>Figura 2.11:</b> Ejemplos de modulaciones empleadas en el mapeo de las subportadoras con DVB-T .....	32
<b>Figura 2.12:</b> Estructura Física de la Trama .....	35
<b>Figura 2.13:</b> Ventanas de software MATLAB .....	38
<b>Figura 2.14:</b> Ventana de Gráficos del software Matlab .....	39
<b>Figura 4. 1:</b> Diagrama de Bloque del sistema DVB-T2 .....	47
<b>Figura 4. 2:</b> Concepto PLP .....	48
<b>Figura 4. 3:</b> PLP tipo 1 con un corte por T2 Frame .....	49
<b>Figura 4. 4:</b> PLP tipo 2 con varios sub-cortes por T2 Frame .....	49
<b>Figura 4. 5:</b> Diagrama de bloques del transmisor del estándar DVB-T2 .....	50
<b>Figura 4. 6:</b> Codificación FEC.....	51
<b>Figura 4. 7:</b> Entrelazado de bits de 16-QAM .....	56
<b>Figura 4. 8:</b> Demultiplexor de bits en subtramas.....	58
<b>Figura 4. 9:</b> Constelaciones PSK.....	59
<b>Figura 4. 10:</b> Constelación 16-QAM.....	60
<b>Figura 4. 11:</b> Constelación 64-QAM.....	61

<b>Figura 4. 12:</b> Rotación y constelación clásica .....	62
<b>Figura 4. 13:</b> Constructor de la trama DVB-T2 .....	63
<b>Figura 4. 14:</b> Señal OFDM .....	64
<b>Figura 4. 15:</b> Ejemplo de un patrón de recepción de un canal Rayleigh. ....	71
<b>Figura 4. 16:</b> Ejemplo de un patrón de recepción para un canal Rician .....	72
<b>Figura 4. 17:</b> Diagrama de flujo del programa elaborado para la simulación de la capa física del estándar DVB-T2 .....	74
<b>Figura 4. 18:</b> Interfaz gráfica de la simulación .....	75
<b>Figura 4. 19:</b> Gráfica de la Dispersión de una señal en DVB-T2.....	76
<b>Figura 4. 20:</b> Gráfica de Media BER y SNR usando el estándar DVB-T2 de TDT.....	77
<b>Figura 4. 21:</b> Gráfica del BER interpolado usando el estándar DVB-T2.....	78
<b>Figura 4. 22:</b> Gráfica de la Respuesta de Impulso de la Banda Limitante y respuesta de frecuencia de una señal usando DVB-T2. ....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	PÁGINAS
<b>Tabla 2.1:</b> Cuadro Comparativo de los Sistemas de Televisión Analógica .....	11
<b>Tabla 2.2:</b> Año de implantación de los estándares para TDT .....	16
<b>Tabla 2.3:</b> Comparación de la capacidad de red entre DVB-T y DVB-T2 .....	34
<b>Tabla 2.4:</b> Cuadro Comparativo ISDB-T, DVB-T, DVB-T2.....	37
<b>Tabla 4. 1:</b> Parámetros de codificación (por sus siglas en FECFRAME Nldpc = 16 200 y 64800) .....	52
<b>Tabla 4. 2:</b> Parámetros de codificación para cálculo del ratio LDPC del estándar DVB-T2.....	54
<b>Tabla 4. 3:</b> Valores del Parámetro Qldpc .....	56
<b>Tabla 4. 4:</b> Parámetros para el mapeo de bits en constelaciones .....	57
<b>Tabla 4. 5:</b> Numero de subtramas del demultiplexor .....	58
<b>Tabla 4. 6:</b> Ángulo de rotación para cada tipo de modulación .....	62
<b>Tabla 4. 7:</b> Parámetros que definen los patrones de pilotos dispersos.....	65
<b>Tabla 4. 8:</b> Tabla de las Amplitudes de las Portadoras Piloto .....	66
<b>Tabla 4. 9:</b> Parametros OFDM en función del tiempo.....	68
<b>Tabla 4. 10:</b> Duración del Intervalo de Guarda en Términos del Periodo Elemental....	69

## RESUMEN

La televisión digital terrestre es una tecnología de transmisión avanzada que ha transformado la experiencia de ver televisión a una nueva era de sistemas de televisión analógicos. La televisión digital ha permitido a las emisoras ofrecer servicios con mejor calidad de imagen y sonido. Sin embargo, debido a los avances tecnológicos y al no poder satisfacer con las necesidades de los clientes (HDTV, nuevos contenidos, etc.), es necesario realizar una revisión de la norma actual. Es por ello que la organización DVB en colaboración con otras entidades y organismos han desarrollado una nueva versión de estándar capaz de satisfacer esas necesidades.

El objetivo principal del proyecto es el prototipo de la simulación de la capa física para el estándar DVB-T2 de TDT (Digital Video Broadcasting para la televisión terrestre). Para cumplir con los objetivos planteados en el proyecto se realiza un análisis de la situación actual de la Televisión Digital Terrestre (TDT) y el estándar ISDB-Tb adoptado por el Ecuador, además se estudian los parámetros que usa el estándar DVB-T2 como tecnología evolutiva para la Televisión Digital Terrestre, posteriormente se presenta el modelo propuesto.

Para el desarrollo del prototipo de simulación se utilizó el software Matlab debido a su amplia gama de herramientas como es Guide que permitió la creación de la interfaz gráfica, además de tener la capacidad de mostrar imágenes con características y parámetros detallados.

Finalmente se realizaron las pruebas de funcionamiento y el análisis de los resultados, en el cual la plataforma de simulación es capaz de probar todos los parámetros y las mejoras introducidas en el nuevo estándar DVB-T2, obteniendo una mejora en términos de capacidad de velocidad de datos, mejores servicios y nuevas experiencias de usuario, como el HDTV.

**Palabras clave:** estándar DVB-T2, Televisión Digital Terrestre, estándar ISDB-Tb, calidad de imagen y sonido.

## ABSTRACT

Digital terrestrial television is an advanced broadcasting technology that has transformed the viewing experience to a new era of analog television systems. Digital television has allowed broadcasters to offer services with better picture quality and sound. However, due to technological advances and unable to meet the needs of customers (HDTV, new content, etc.), it is necessary to conduct a review of the current standard. That is why the DVB organization in collaboration with other organizations and agencies have developed a new version of standard capable of meeting these needs.

The main objective of the project is the prototype of the simulation of the physical layer for the DVB-T2 DVB-T (Digital Video Broadcasting for Terrestrial Television) standard. To meet the goals outlined in the project an analysis of the current state of digital terrestrial television (DTT) and the ISDB-Tb standard adopted by Ecuador takes further parameters are studied using the DVB-T2 as technology Evolutionary for Digital Terrestrial Television, then the proposed model is presented.

To develop the prototype simulation software Matlab was used due to its wide range of tools such as Guide that allowed the creation of the graphical interface in addition to having the ability to display images with detailed features and parameters.

Finally performance testing and analysis of the results was performed, in which the simulation platform is able to test all the parameters and the improvements in the new DVB-T2, obtaining an improvement in terms of speed capability data, better services and new user experiences, such as HDTV.

**Keywords:** DVB-T2 Digital Terrestrial Television, ISDB-Tb, picture and sound quality standard.



## GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **16 -QAM:** (Quadrature amplitude modulation of 16 states) Modulación de amplitud en cuadratura de 16 estados.
- **64 -QAM:** (Quadrature amplitude modulation of 64 states) Modulación de amplitud en cuadratura de 64 estados.
- **8-VSB:** (Vestigial Sideband Modulation) Modulación de banda lateral vestigial de 8 niveles discretos de amplitud)
- **AC-3:** Dolby Digital.
- **ARIB:** (Association of Radio Industries and Businesses), Asociación de Industrias y Empresas de Radiocomunicaciones.
- **ASI:** (Serial Asynchronous Interface), interfaz serie asíncrono.
- **ATSC:** (Advance Television System Committee), comité del sistema de televisión avanzada.
- **BCH:** (Bose Chaudhuri Hocquengham)
- **BER:** (Bit Error Rate), tasa de error de bit.
- **BST:** (Band Segmented Transmission), banda de transmisión segmentado.
- **BST-OFDM:** (Bandwidth Segmented Transmission-Orthogonal Frequency Division Multiplexing), banda de transmisión segmentado - multiplexación por división de frecuencias ortogonales.
- **CAP :** (Advanced Common Application Platform) Plataforma e Aplicación Común Avanzada
- **COFDM:** (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex), multiplexado por división de frecuencia ortogonal codificada.
- **DQPSK:** (Diferencial Quaternary Phase-Shift Keying), diferencial de codificación por desplazamiento de fase.
- **DTMB:** (Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting), difusión digital terrestre multimedia.
- **DVB:** Consorcio DVB (Digital Video Broadcasting), difusión digital de vídeo.
- **DVB-C:** (Digital Video Broadcasting Cable), difusión digital de vídeo por cable.
- **DVB-S:** (Digital Video Broadcasting by Satellite), difusión digital de vídeo por satélite.

- **DVB-T:** (Digital Video Broadcasting Terrestrial), difusión digital de vídeo terrestre.
- **DVB-T2:** (Digital Video Broadcasting Terrestrial second generation), difusión digital de vídeo terrestre de segunda generación.
- **ETSI EN 300 429:** (Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for cable systems), Difusión de Video Digital (DVB); Estructura de trama, codificación de canal y modulación para sistemas de cable.
- **ETSI EN 300 744:** (Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television), Difusión de Video Digital (DVB); Estructura de tramas, codificación de canal y modulación para la televisión digital terrestre.
- **ETSI EN 301 210:** (Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for Digital Satellite News Gathering (DSNG) and other contribution applications by satellite), Difusión de Video Digital (DVB); Estructura de trama, codificación de canal y modulación por satélite digital de periodismo (DSNG) y otras aplicaciones de contribución por satélite.
- **FEC:** (Forward Error Correction), corrección de errores en recepción.
- **FEF:** (Future Extension Frames), futuros marcos de extensión.
- **FFT:** (Fast Fourier Transformation), algoritmo rápido para la realización de la transformada de Fourier.
- **GIF:** (Guard Interval Fractions), fracciones intervalo de Guarda.
- **H.264/MPEG-4 AVC:** es una norma que define un códec de vídeo de alta compresión, desarrollada conjuntamente por el ITU-T.
- **HD:** (High Definition), alta definición.
- **HDTV:** (High Definition Television), televisión de alta definición.
- **Inner Coder:** Código Interno
- **ISDB-T:** (Integrated Service Digital Broadcasting Terrestrial), servicios integrados de la difusión digital terrestre.
- **ISDB-Tb:** (Integrated Service Digital Broadcasting Terrestrial Brasileiro), servicios integrados de la difusión digital terrestre brasileiro.
- **ISI:** Interferencia Intersimbólica

- **LABVIEW:** (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench), es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico.
- **LaViCAD:** Laboratorio Virtual de Comunicaciones Analógicas y Digitales.
- **LDPC:** (Low density parity check), bajo control de paridad de densidad.
- **MATHCAD:** (PTC Mathcad), es el software estándar para resolver, analizar y compartir los cálculos de ingeniería vitales.
- **MATLAB:**(MATrix LABoratory), laboratorio de matrices.
- **MER:** (Modulation Error Ratio), tasa de error de modulación.
- **MHP:** (Multimedia Home Platform), Plataforma de hogar multimedia.
- **MPEG-1:** (Moving Pictures Experts Group 1), grupo 1 de expertos en imágenes en movimiento.
- **MPEG-2:** (Moving Pictures Experts Group 2), grupo 2 de expertos en imágenes en movimiento.
- **MPEG-4:** (Moving Pictures Experts Group 4), grupo 4 de expertos en imágenes en movimiento.
- **NGH:** (Next Generation Handheld), próxima generación portátil.
- **NTFS:** (National Televisión Systems Committee), Comité Nacional de Sistemas de Televisión.
- **OFDM:** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), multiplexación por división de frecuencias ortogonales.
- **OSI:** (Open System Interconnection), sistemas de interconexión abiertos.
- **PAL:** (Phase Alternating Line), línea de fase alternada.
- **PES:** (Packetized Elementary Stream), Corriente elemental empaquetada.
- **Pilotos continuos:** Pilotos en posiciones fijas del símbolo OFDM utilizados para eliminar el error de fase.
- **Pilotos dispersos:** Pilotos utilizados para interpolar el canal.
- **Pixel:** es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital.
- **PLP:** (Physical Layer Pipes), tubería de capa física.
- **QAM:** (Quadrature amplitude modulation), modulación de amplitud en cuadratura.

- **QPSK:** (Cuadratura Phase Shift Keying), modulación por desplazamiento cuadrafásica.
- **SECAM:** (Séquentiel Couleur avec Mémoire), Color secuencial con memoria.
- **SFN:** (Single Frequency Network), Frecuencia de Red Única
- **SNR:** Relación señal ruido
- **SPI:** (Serial Peripheral Interface), Interfaz serie periférico.
- **SSI:** (Serial Synchronous Interface), Interfaz serie síncrono.
- **Tamaño FFT:** Número de puntos que tendrá la transformada de Fourier.
- **TDS-OFDM:** (Time Domain Synchronous - Orthogonal Frequency Division Multiplexing), Tiempo de dominio síncrono - multiplexación por división de frecuencia ortogonal.
- **TDT:** (Digital Terrestrial Television), Televisión Digital Terrestre
- **TiMi:** (Terrestrial Interactive Multiservice Infrastructure), Servicio Interactivo Multi Infraestructura Terrestre.
- **UHF:** (Ultra High Frequency), frecuencia ultra alta.
- **VHF:** (Very High Frequency), muy alta frecuencia.

## INTRODUCCIÓN

La televisión analógica se ha constituido en uno de los medios de comunicación más importantes dentro de la sociedad, es así como esta tecnología a formado parte de miles de hogares a lo largo de las últimas décadas, evolucionando constantemente con el desarrollo de nuevas tecnologías y la apertura de nuevos mercados a nivel mundial. De esta manera la llegada de la televisión digital ha provocado un cambio radical, ya que no solo se trata de obtener imágenes, sino abrir las puertas al acceso de nuevos servicios de mejor calidad, como la televisión satelital, los servicios multimedia y la interactividad entre el usuario y el equipo permitiendo superar muchos esquemas y límites que se sustentaban en la televisión analógica.

La Televisión Digital Terrestre (TDT) acopla su funcionamiento de acuerdo a las características de la región geográfica en la que se la vaya a implementar. Así los estándares establecidos para la transmisión de TDT a lo largo del mundo son: ATSC, DVB-T, ISDB-T, DTMB, ISDB-Tb; los cuales difieren entre sí, en el modo de compresión y modulación de las señales de televisión.

Según estudios actuales el estándar DVB-T2 ofrece un sistema más avanzado de transmisión terrestre en comparación con el estándar ISDB-T usado en nuestro país mejorando así parámetros como la eficiencia, robustez y flexibilidad. Este sistema presenta muchas técnicas de codificación avanzadas que permiten un uso eficiente del espectro para la prestación de servicios de audio, video y datos a dispositivos fijos, portátiles y móviles.

En el Capítulo I se realiza el análisis y planteamiento del problema, basado en la carencia de un prototipo de simulación de la capa física del estándar DVB-T2 utilizado en Televisión Digital Terrestre, además se realiza la delimitación de la investigación; así como la justificación y el planteamiento de los objetivos para el presente proyecto de investigación.

En el Capítulo II se realiza el análisis de los sistemas de televisión Analógicos y Digitales, se realiza a más de ello un estudio de los principales estándares como son: DVB-T, ISDB-Tb y DVB-T2, esto como parte de la fundamentación teórica de la investigación, luego se establece una propuesta de solución para el problema planteado.

En el Capítulo III se indica la metodología usada para la simulación de la capa física del estándar DVB-T2, utilizado en Televisión Digital Terrestre, como son: modalidades de investigación, recolección, procesamiento y análisis de datos. También se especifica los pasos que se siguieron en el progreso del proyecto.

En el Capítulo IV se realiza un estudio detallado del estándar DVB-T2, su estructura y principales características que sirven como base para el análisis sistemático y el funcionamiento del prototipo de simulación de la capa física del estándar DVB-T2, utilizado en TDT, mediante el uso del software Matlab.

En el Capítulo V se presenta las conclusiones y recomendaciones.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1. Tema**

“SIMULACIÓN DE LA CAPA FÍSICA DEL ESTÁNDAR DVB-T2, UTILIZADO EN TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE”.

### **1.2. Planteamiento del Problema**

En las últimas décadas del siglo XX, con la evolución de los métodos de modulación digital y el desarrollo de tecnologías orientadas al mejoramiento de la transmisión de información por medio de redes de telecomunicaciones, se ha conseguido un mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico con el objetivo de brindar un excelente servicio de televisión terrestre. La televisión digital implica un giro en el modo en que se propaga y se difunde las ondas que transmiten señales de televisión; representa una revolución en la comunicación multimedia, siendo posible, a través de ella, mezclar un número determinado de canales de video, audio y datos en una sola señal. Por otra parte, se logra una mejor calidad de imagen, una señal menos propensa a ruidos e interferencias que en el caso de una señal analógica y una calidad de sonido superior, además, es posible la recepción inalámbrica en equipos portátiles.

El progreso de la Televisión Digital Terrestre (TDT) se debe al desarrollo de los estándares para su difusión, los cuales inician en Estados Unidos con el estándar ATSC (Advance Television System Committee), en Europa el estándar DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial); posteriormente a esta fase, Japón desarrolló su propio estándar ISDB-T (Integrated Service Digital Broadcasting-Terrestrial) en la actualidad,

los tres estándares de televisión digital compiten en el mundo. A partir de los últimos años Brasil y China han desarrollado sus propios estándares, Brasil ha adoptado el estándar japonés para así desarrollar el estándar ISDB-Tb (Integrated Service Digital Broadcasting - Terrestrial Brasileiro), mientras que China ha desarrollado el estándar DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting).

Europa ha mejorado el estándar DVB-T en una segunda generación creando el DVB-T2 (Digital Video Broadcasting-Terrestrial second generation) que en español significa, Difusión Terrestre de Video Digital- segunda generación; al variar el desempeño del estándar DVB-T, el DVB-T2 permite a los operadores ofrecer más servicios o lanzar bit-rates superiores tales como servicios de alta definición. A parte de lo citado, la especificación DVB-T2 ha sido diseñada para su recepción con antenas fijas ya existentes, antenas móviles y telefonía móvil en algunos casos.

La norma DVB-T2, es el sistema de TDT más popular del mundo, ha sido exitosamente implantado en el Reino Unido, Alemania, Suecia, Finlandia, España, Italia, Holanda, Suiza, Singapur y Australia. Asimismo; en China, Malasia, Tailandia, Vietnam, Ucrania, Azerbaiyán, Croacia y Sudáfrica, entre otros.

Los países de América Latina, por razones de índole económica y política; han sido esquivos a comprometerse con la implantación TDT, pero Brasil al haber ya emigrado a TDT encabeza un movimiento regional que intenta ser un ejemplo de innovación y tecnología para los otros países de Latinoamérica. [1]

En Ecuador el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, y entidades gubernamentales del sector de las telecomunicaciones trabajan en coordinación para implementar en forma óptima la TDT; el 26 de marzo de 2010, Ecuador adoptó oficialmente el estándar japonés-brasileño (ISDB-Tb) para la TDT; que actualmente se aplica en Argentina, Brasil, Perú, Chile y Venezuela. La primera fase de implantación de la televisión digital terrestre en el Ecuador está comprendida a las poblaciones mayores a los 500 mil habitantes es decir: Quito, Guayaquil y Cuenca. En la segunda fase se hará en las de 200 mil a 500 mil personas, en las capitales de provincia y finalmente en los sectores con menos de 200 mil habitantes.



En nuestro país la introducción del estándar DVB-T2 para Televisión Digital Terrestre se produce de forma gradual gracias a la expansión y al desarrollo tecnológico en países de Sudamérica, aun así existen pocas referencias teóricas y prácticas en cuanto a nuevos modelos de desarrollo del estándar en Universidades del país, incluyendo además el factor costo, que limita el aporte práctico para indagar y comprender estándares de televisión digital terrestre y su uso en el Ecuador.

### **1.3. Delimitación**

#### ***Delimitación de Contenido:***

Línea de investigación:                      Tecnologías de comunicación.

Sublíneas de investigación:              Protocolos de comunicación.

Área académica:                              Comunicaciones.

#### ***Delimitación Espacial:***

La presente investigación se realizó en la ciudad de Ambato.

#### ***Delimitación Temporal:***

La presente investigación se desarrolló en un período de seis meses a partir de su aprobación por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

### **1.4. Justificación**

Este proyecto de investigación se considera que tiene una gran importancia desde el punto de vista práctico, ya que mediante la simulación de la capa física del estándar DVB-T2 de TDT se podrá realizar un estudio pormenorizado de los parámetros técnicos del estándar estudiado, con vistas a proponer su implementación futura en nuestro país. Por lo tanto se estima que el desarrollo del proyecto se justifica totalmente en el contexto actual que vive el Ecuador, basado en la implantación de un estándar de televisión digital terrestre que ofrezca ventajas tales como: la fortaleza en la inmunidad

al ruido, pérdida nula de información en una transmisión de múltiples canales, uso eficaz del ancho de banda, óptima codificación de señales de audio y video y corrección de errores; que garantizan el uso reciente del estándar DVB-T2 como tecnología para TDT.

Los beneficiarios directos de la investigación, son los estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones; de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato; al disponer de un prototipo de simulación que permita reconocer el funcionamiento de la capa física del estándar DVB-T2 para la televisión digital. Particularmente la comunidad académica de la provincia de Tungurahua; así como de las otras provincias, tendrá en este proyecto de investigación una fuente de información primordial en forma práctica y teórica sobre la norma DVB-T2.

El desarrollo de este trabajo de investigación está consolidado con la disponibilidad de variada fuente bibliográfica; patrocinado por un tutor y docentes de la FISEI y expertos en el área de las telecomunicaciones; se cuenta con la herramienta informática MATLAB, que permite realizar una simulación con vista al estudio de su posible implementación. La simulación de la capa física del estándar DVB-T2, utilizado en Televisión Digital Terrestre (TDT); es un tema científico que repercute en el conocimiento moderno de la teledifusión, la alta definición en audio y video; y las comunicaciones avanzadas.

## **1.5. Objetivos**

### ***1.5.1. Objetivo General:***

- Desarrollar un prototipo de la capa física del estándar DVB-T2, utilizado en Televisión Digital Terrestre (TDT).

### ***1.5.2. Objetivos Específicos:***

- Analizar la situación actual de la Televisión Digital Terrestre (TDT) y el estándar ISDB-Tb adoptado por el Ecuador, para su funcionalidad; en comparación al estándar DVB-T2.

- Analizar el estándar DVB-T2 como tecnología evolutiva para la Televisión Digital Terrestre (TDT), empleada eficientemente en otros países.
- Diseñar un prototipo para la simulación de la capa física del estándar DVB-T2.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes Investigativos**

En los repositorios digitales de las diferentes Universidades se encontró investigaciones similares que sirvió de soporte a la presente investigación, las que se detallan a continuación.

El proyecto de investigación modalidad TEMI de Carlos S. Marcos Fernández de la Universidad Politécnica de Cataluña, está orientado al diseño e implementación del simulador de la capa física del sistema DVB-T, integrado en el laboratorio virtual de comunicaciones analógicas y digitales LaViCAD para su libre disposición en Internet. [1]

Otro proyecto de investigación fue elaborado por Isaac Castro Mateos, con el tema: Simulador de un sistema de Transmisión, Recepción y ecualización de DVB-T en Simulink., el cual describe la implementación de un transmisor y receptor DVB-T, bajo la plataforma de MATLAB y que cumpliera el estándar ETSI EN 300 744 V.1.4.1. Este proyecto se divide en dos partes, Generador de señales DVB-T y Receptor DVB-T que incluirá el canal. [2]

Además de los proyectos mencionados, se analizó también el proyecto de investigación modalidad TEMI de Ricardo David Gómez Paredes de la Universidad Técnica de Ambato, cuya propuesta tiene por objeto determinar cuál es el Estándar de Televisión Digital más Idóneo para el Ecuador. [3]

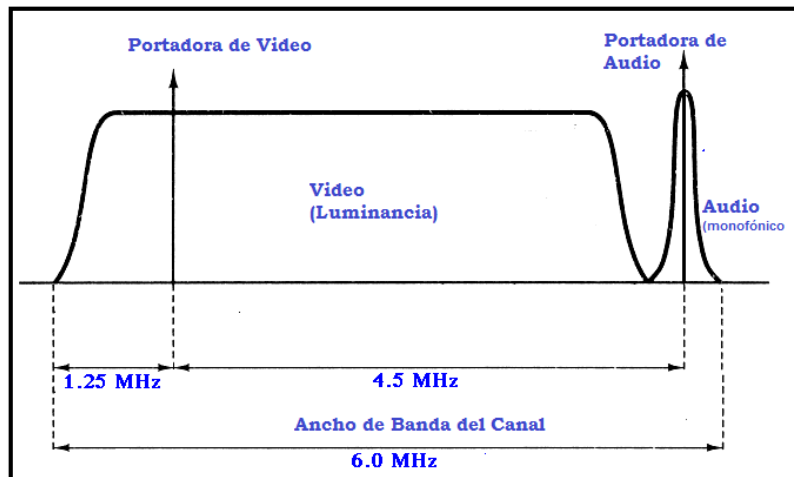
## **2.2. Fundamentación Teórica**

### **2.2.1 Televisión Analógica**

La Televisión Analógica es el sistema tradicional de televisión que utiliza ondas electromagnéticas para transmitir imágenes y sonidos, se puede decir que es el sistema que se ha venido empleando desde el inicio de las emisiones de televisión.

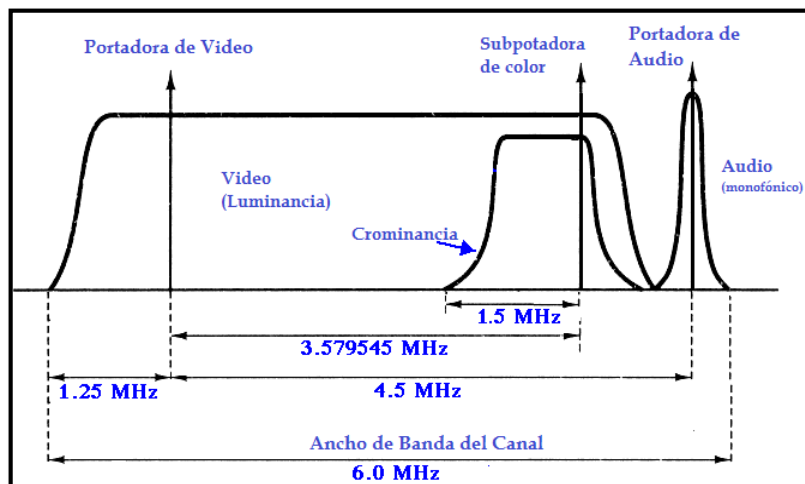
La televisión comenzó a transmitirse de forma monocromática, es decir en blanco y negro, donde la señal de video transmitida por las estaciones contenía solamente la información del brillo de la imagen, que se representaba como una sucesión de puntos con mayor o menor potencia en el receptor; posteriormente surgió la televisión a color lo cual represento un mayor ancho de banda, ya que se iban a transmitir las señales de los tres colores primarios es decir: rojo-R, verde-V y azul-B donde el ojo humano construye la sensación del color. De tal manera que al tener color en la señal de video se transfieren dos tipos de señales que contienen la información del brillo a la que se le conoce como luminancia, mientras que la información de matiz y saturación de la escena se la llama crominancia, esta última es usada para la reconstrucción de los tres colores primarios. [4]

En la Figura 2.1 se muestra el espectro de un canal de televisión analógico monocromático con audio monofónico, donde el ancho de banda del canal de 6MHz es dividido en dos porciones, una porción de ancho de banda para la portadora de video y otra porción de ancho de banda para la portadora de audio, el audio monofónico quiere decir grabado y reproducción de audio por un solo canal.



**Figura 2.1:** Espectro de un canal de televisión analógico monocromático con audio monofónico según el sistema NTSC [4]

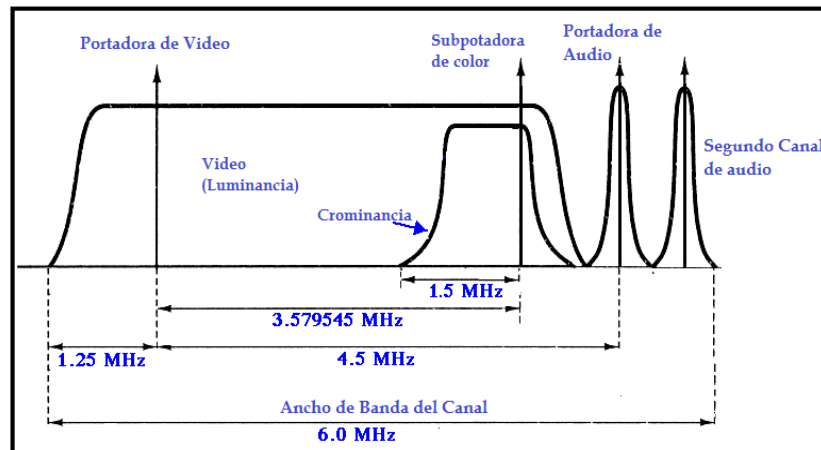
En la Figura 2.2 se observa el espectro de un canal de televisión analógico a color con audio monofónico, el ancho de banda de 6MHz es dividido en dos porciones, una porción de ancho de banda para la portadora de video pero a diferencia de la figura anterior en esta se presenta una subportadora de color es decir crominancia y otra porción de ancho de banda para la portadora de audio en un solo canal.



**Figura 2.2:** Espectro de un canal de televisión analógica a color con audio monofónico según el sistema NTSC [4]

En la Figura 2.3 se puede observar el espectro de un canal de televisión analógico a color con audio estéreo, en el cual el ancho de banda del canal tiene 6 MHz, el mismo que se divide en dos porciones, una porción de ancho de banda para la portadora de video, además una subportadora de color es decir crominancia y otra porción de ancho

de banda para la portadora de audio. En la porción de portadora de audio en un comienzo es monofónico, es decir el grabado y reproducción de audio por un solo canal y luego estéreo que es el grabado y reproducido de audio por dos canales.



**Figura 2.3:** Espectro de un canal de televisión analógico a color con audio estéreo según el sistema NTSC [4]

El funcionamiento de la televisión analógica se basa en la imagen, la misma que es capturada mediante cámaras que en promedio toman treinta imágenes fijas cada segundo y éstas se convierten en líneas y puntos; posteriormente, a cada uno de ellos se le asigna un color y una intensidad, así como parámetros de sincronía vertical y horizontal con la finalidad de que el equipo receptor muestre las imágenes en un cinescopio. [5]

Por desgracia esta señal analógica está lejos de ser perfecta, debido a que no siempre puede reproducir exactamente la programación original, además puede deteriorarse fácilmente a través de largas distancias o sufrir interferencias de otras fuentes como la producción de imágenes fantasmas, por la estática, y factores climáticos.

### **Sistemas de transmisión televisivos: NTSC, PAL y SECAM**

Al surgir la televisión a color se vio la necesidad de establecer ciertas normas que admitan definir medidas técnicas generales, así como también regular la elaboración y el uso de receptores para poder generar la interoperabilidad en los diferentes países del

mundo y a más de ello conservar la compatibilidad de los sistemas de televisión a blanco, negro y a color.

Dentro de los sistemas de transmisión de televisión analógica se tiene los siguientes modelos:

- Sistema NTSC
- Sistema PAL
- Sistema SECAM

- **Sistema televisivo NTSC:**

El sistema televisivo NTSC (National Television Systems Committee), es un sistema de video o el estándar más utilizado en Japón y Estados Unidos. Su forma de transmisión es de 525 líneas en la pantalla a una velocidad de unos 30 fotogramas por segundo o imágenes mostradas por segundo (fps), también se denomina (frame rate), velocidad de los fotogramas.

- **Sistema televisivo PAL:**

El sistema televisivo PAL es el estándar de video predominante o estándar utilizado principalmente en Europa, Australia, China y Suramérica. El sistema PAL (Phase Alternating Line), se encarga de emitir 625 líneas a través de una serie de ráfagas producidas por electrones sobre la pantalla del televisor a una velocidad o frecuencia de 25 fotogramas o imágenes por segundo (fps).

- **Sistema televisivo SECAM:**

El sistema televisivo SECAM (Sequential Color with Memory), es el que se utiliza en los países de FRANCIA y JAPÓN. La transmisión televisiva en SECAM, se forma escaneando la pantalla del televisor a 625 líneas y a una frecuencia de 25 frames por segundo. Este sistema es compatible con el sistema PAL, ya que utilizan los mismos formatos de escaneo y velocidades en los frames, la diferencia es la forma de cómo se codifica el color. [6]

En la Tabla 2.1 se muestra un cuadro comparativo de los sistemas que utiliza la televisión analógica como el NTSC, PAL y SECAM además de algunos parámetros



como el ancho de banda del canal, la frecuencia subportadora, portadora de audio y frecuencia establecidos para cada estándar.

**Tabla 2.1:** Cuadro Comparativo de los Sistemas de Televisión Analógica [6]

<b>Estándar</b>	<b>NTSC</b>	<b>PAL</b>	<b>SECAM</b>
Portadora de audio	4.5 MHz	5.5 MHz	5.5 MHz
Ancho de banda de canal	6 MHz	8 MHz	8 MHz
Frecuencia Subportadora de Color	3.58 MHz	4.43 MHz	4.25 MHz
Frecuencia	60 Hz	50 Hz	50 Hz
Líneas/Campos	525/60	625/50	625/50

### **2.2.2 Televisión Digital**

La Televisión Digital es la difusión de las señales de TV que utiliza la más moderna tecnología digital para transmitir de forma optimizada la imagen y sonido de mayor calidad. Actualmente, es posible acceder a la Televisión Digital mediante las siguientes tecnologías de acceso como son: ondas terrestres, cable, satélite ADSL y dispositivos móviles.

La Televisión Digital Terrestre (TDT) es una aplicación de la tecnología digital. TDT ofrece un mayor número de canales y una mejor calidad de imagen y sonido, utilizando transmisiones aéreas para una antena convencional UHF en vez de un satélite o una conexión por cable. Además la TDT se transmite en frecuencias de radio a través del espectro de radiofrecuencia. Esto es similar a la televisión analógica estándar, con la diferencia principal del uso de transmisores múltiplex para permitir la recepción de múltiples canales en una sola gama de frecuencias.

Al igual que está ocurriendo con otros sectores tecnológicos, la adopción de una tecnología común de forma casi simultánea a nivel mundial, no ha sido sinónimo de homogenización de estándares. DVB-T (europeo), ATSC (americano) e ISDB-T

(japonés), además del diseñado por China (DTMB), o el establecido por Brasil (ISDN-Tb); son los que más representación tienen a nivel mundial. [7]

A continuación vamos a nombrar los sistemas de radiodifusión terrestre utilizados a nivel mundial.

**ATSC:** El Advanced Television Systems Committee (ATSC), se creó en Estados Unidos en 1982 como una asociación privada compuesta por empresas, asociaciones y centros educativos. [4]

### **Características Técnicas**

- **Middleware:** Las aplicaciones interactivas se desarrollan en la plataforma conocida como ACAP (Advanced Common Application Platform), una plataforma común de sistemas de televisión por aire y cable que incluye plataformas como: PSIP (Program and System Information Protocol) para servicios interactivos simples, DASE (Digital V Applications Software Environment) para altas prestaciones y la plataforma interactiva de cable OCAP (OpenCable Applications Platform).
- **Compresión:** El estándar ATSC utiliza la compresión MPEG-2 para la compresión de video y Dolby Digital (AC-3) para el audio.
- **Multiplexación y Transporte:** Se realiza una multiplexación de paquetes a través del uso de MPEG-2.
- **Transmisión:** ATSC usa la modulación 8-VSB (Vestigial Sideband Modulation), es decir modulación de banda lateral vestigial de 8 niveles discretos de amplitud un esquema de modulación de portadora única.

**ISDB-T:** La Asociación de Industrias y Empresas de Radiocomunicaciones (ARIB) es el organismo japonés para el desarrollo de Industrias de Radiocomunicación y fue establecida el 15 de Mayo de 1995. Este organismo trabaja sobre las competencias del Ministerio de Relaciones Internas y Comunicaciones, contando actualmente con 269 miembros y desarrolló el actual estándar ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting- Terrestrial) para transmisión de Televisión Digital Terrestre. [8]

## Características Técnicas

- **Middleware:** Adicional a la transmisión de audio y video, ISDB-T ofrece el servicio de transmisión de datos. El middleware ARIB permite la programación de contenido y aplicaciones.
- **Compresión:** La compresión de audio y de video se realiza por separado y utilizando técnicas específicas. En cuanto a video, se emplea MPEG-2 Parte 2 (UIT Especificación H.262). Adicionalmente, soporta varios tipos de calidad y formatos de video. Para el sistema de audio, se emplea la codificación de audio MPEG-2 AAC (Advanced Audio Coding) para transmisión fija y MPEG-4 HE-AAC para dispositivos portátiles y soporta algunos formatos, entre los que están; monoaural, estéreo, bilingüe, multicanal estéreo
- **Multiplexación y Transporte:** Una vez codificada la información de audio, video y datos, el estándar ISDB-T usa sistemas MPEG-2 para multiplexación y transporte. Los contenidos transmitidos son multiplexados en un paquete llamado flujo de transporte (transport stream-TS).
- **Transmisión:** En el estándar ISDB-T se resalta el sistema de transmisión con sus características muy particulares y que hacen del sistema, un sistema robusto. ISDB-T utiliza la modulación OFDM segmentada conocida como BST-OFDM. Con este tipo de modulación, se divide el canal de transmisión de 6 MHz en 13 segmentos, cada uno con un ancho de banda de 429 KHz, dejando abierta la posibilidad de transmitir señales de televisión en diferentes definiciones y servicios (HDTV, SDTV, LDTV).

**DTMB:** Es el estándar de televisión digital terrestre creado por la República Popular China, tanto para terminales fijos, como móviles. Originalmente se lo llamó DMB-/H por las siglas en inglés Digital Multimedia Broadcast-Terrestrial/Handheld, actualmente se lo conoce como Transmisión Digital Terrestre Multimedia (DTMB por las siglas en inglés de Digital Terrestrial Multimedia Broadcast).

## Características Técnicas

- **Middleware:** Las aplicaciones interactivas se desarrollan en la plataforma TiMi (Terrestrial Interactive Multiservice Infrastructure) proporcionando un ambiente accesible para los usuarios.
- **Compresión:** Para poder transportar los contenidos, el estándar incorpora técnicas de compresión, para video MPEG-4 Part 10 (H264), para audio MPEG-4 Part 3 AAC-BSAC (Audio) y para otros datos MPEG-4 Part 1.
- **Multiplexación y Transporte:** Se emplea la técnica MPEG-2, mediante la cual se crean paquetes llamados PES (Packetized Elementary Stream) a partir de las señales de audio y video que conforman cada programa a transmitirse. Estos paquetes a su vez, junto con los de otros programas que se transmitan en el mismo ancho de banda, son multiplexados y de este proceso resulta un nuevo paquete llamado TS (Transport Stream).
- **Transmisión:** Para fines de transmisión en el estándar DTMB se usa la modulación TDS-OFDM (Time Domain Synchronous Orthogonal Frequency Division Multiplexing), acompañada de técnicas de corrección de errores.

**DVB:** Digital Video Broadcasting es un estándar desarrollado en Europa con la colaboración del Proyecto DVB, el mismo que comenzó su trabajo en 1993 dando prioridad a la transmisión por cable (DVB-C) y satélite (DVB-S). De manera particular, la primera versión del estándar de TDT en Europa, DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial, fue publicada en Marzo de 1997 y la versión mejorada se creó años más tarde, en Junio del 2006, DVB-T2 (Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial)

## Características Técnicas

- **Middleware:** La plataforma común para aplicaciones interactivas de televisión digital es MHP (Multimedia Home Platform) un middleware abierto. ETSI ha definido a DVB-MHP como un estándar separado que soporta diferentes aplicaciones como son: Guía Electrónica de Programas

(EPG), servicios de información como noticias, deportes, teletexto, acceso a internet, e-mail, comercio y banca electrónico, teleeducación y telemedicina.

- **Compresión:** DVB-T emplea para video la codificación MPEG-2 (SDTV) y MPEG-4 (HDTV) y para audio MPEG-1 nivel 2. Sin embargo, este estándar ha ido evolucionando continuamente, hasta que años más tarde se creó una nueva versión que aún no está implementada en su totalidad, el DVB-T2, ésta incorpora, MPEG-4 AVC (H.462) para la codificación de video y Dolby Digital (AC-3) para el audio.
- **Multiplexación y Transporte:** Se realiza empleando las técnicas MPEG-2, al igual que en el estándar japonés. El uso de técnicas de multiplexación permite ajustar mayor número de canales en el ancho de banda asignado.
- **Transmisión:** Se usa la modulación COFDM, Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex, una técnica de modulación que divide la información a transmitir en un cierto número de portadoras.

**DVB-S (Satélite):** En transmisión de televisión por satélite existe el estándar DVB-S. Estipulado en la Norma ETSI EN 301 210. La televisión por satélite fue la primera aplicación en transmisión de televisión digital. La principal motivación fue la reducción de los anchos de banda debido a lo caro de este recurso en un satélite. Este tipo de estándar utiliza para la transmisión QPSK y su ancho de banda está en función del bit rate del múltiplex MPEG-2 y de la robustez que se pretenda.

**DVB-C (Cable):** El DVB-C es un estándar europeo diseñado para la transmisión por cable, este es el más popular a nivel mundial y está definido en la norma ETSI EN 300 429. Maneja modulación QAM 16, 32, 64, 128 o 256.

**DVB-T (Terrestre):** El estándar de televisión digital terrestre europeo transmite corriente MPEG-2 y su sistema de transmisión está basada en el uso de la modulación COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex) con detección y corrección de errores. Este estándar está definido en la norma ETSI EN 300 744, el cual fue diseñado para ser utilizado mundialmente de la misma manera que otros estándares de su familia y con esa ideología se lo diseñó logrando adaptar en canalizaciones de 6, 7 y 8 MHz.

El sistema está diseñado para convivir con las transmisiones de televisión analógica existentes en VHF y UHF, es por ello que debe tener una protección suficiente con respecto a interferencia co-canal y a interferencia en canal adyacente que resulte de los canales en sistemas PAL/SECAM/NTSC. DVB-T no posee con una tasa de transmisión fija, ya que el estándar va en función de su propia caracterización, de tal manera que está definida por diferentes parámetros como son: modulación, intervalos de guarda, canalización, etc. De esta manera para una canalización de 6MHz se podrían obtener hasta 23,75 Mbps.

La Tabla 2.2 muestra la evolución cronológica de implantación de cada estándar para TDT.

**Tabla 2.2:** Año de implantación de los estándares para TDT [9].

Estándar	Año de implantación
ATSC	1982
ISDB-T	1999
DTMB	2006
ISDB-Tb	2005
DVB-T	1997
DVB-T2	2009

### 2.2.3 Televisión Analógica vs Televisión Digital

El mayor problema de la televisión analógica es que las señales de video varían muy poco al pasar de un elemento de imagen (pixel) a los contiguos, o por lo menos existe una dependencia entre ellos, por lo que la señal no se aprovecha en la mayoría de los casos. En otras palabras se puede decir que se desperdicia el espectro electromagnético, al mismo tiempo al aumentar el número de canales de transmisión su interferencia aumenta y se convierte en un grave problema.

Tanto en la televisión analógica como en la televisión digital, la información, como cualquier archivo de audio o video, se transforma en señales eléctricas. Pero la diferencia entre estas tecnologías es que en la analógica, la información se traduce en impulsos eléctricos de amplitud variable, mientras que en la digital, la traducción de la

información es en formato binario (cero o uno) donde cada bit es representante de dos amplitudes diferentes.

El proceso de digitalización de una señal analógica lo realiza el conversor analógico/digital, esta representación numérica en bits, permite someter la señal de televisión a procesos muy complejos como el muestreo, cuantificación y codificación sin degradación de calidad, ofreciendo múltiples ventajas y abriendo un abanico de posibilidades a nuevos servicios como por ejemplo una mejor definición de imágenes y sonidos, la posibilidades de crear nuevos canales y la optimización en el uso del espectro electromagnético. [10]

La cantidad de bits que genera el proceso de digitalización permite transmitir más datos usando el mismo "ancho de banda" que se usaba para la transmisión de la televisión analógica. Es decir se puede enviar una programación de alta definición utilizando la misma cantidad de espacio que tomó antes de transmitir audio básico y vídeo.

#### **2.2.4 Ventajas y desventajas de la TDT**

La tecnología de televisión digital terrestre además de solucionar ciertos inconvenientes de la tecnología analógica, presenta múltiples soluciones, pero también conlleva a la aparición de nuevos problemas. En esta sección se tratarán de detallarlos teniendo en cuenta los diferentes factores que forman parte del escenario digital, es decir, no sólo se debe considerar las mejoras o desventajas reportadas al usuario final, sino también a los operadores de red, instaladores u otros organismos.

##### **Ventajas de TDT:**

- ***Mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico:*** Las modulaciones digitales permiten incrementar el número de programas de televisión a transmitir por canal radioeléctrico, mientras que en las modulaciones digitales se tenía la necesidad de incluir canales de guarda para evitar interferencias, es decir ofrece un mayor número de servicios usando un menor número de recursos del espectro.

La tecnología utilizada en TDT se traduce en la capacidad para transmitir entre 4 ó 5 programas de televisión por cada canal UHF, donde sólo es viable transmitir un único programa analógico.

En la Figura 2.4 se muestra la optimización de la capacidad de ancho de banda que necesita la televisión digital y la que necesita la televisión analógica, logrando de esta manera que la utilización del espectro radioeléctrico sea mucho más eficiente. Es decir que se dé un incremento del número de canales disponibles, ya que en el mismo espacio que ocupa un canal analógico, se pueden ofrecer 4 ó más canales digitales.

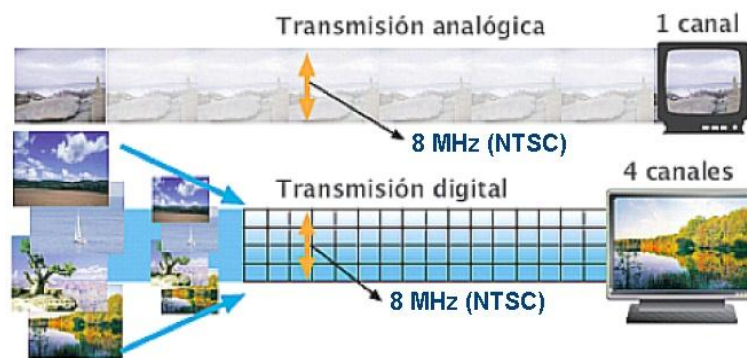


Figura 2.4: Número de programas por canal radioeléctrico [11]

- **Mejora de la calidad de imagen y sonido:** Una de las principales ventajas de utilizar técnicas digitales es que éstas presentan una mayor robustez que las analógicas frente a interferencias. La señal digital aumenta la capacidad para emitir contenidos de mejor calidad, tanto de imagen como de sonido. En la Figura 2.5 se observa que en la señal analógica la imagen y el sonido se va degradando progresivamente ya que se ve afectada por ruido, interferencia o distorsión, mientras que en la imagen que produce la señal digital puede verse perfectamente luego de ser afectada por perturbaciones que afectan a la señal, debido que esta es regenerada mediante la aplicación de las técnicas de corrección de errores que constituyen una parte esencial de la televisión digital terrestre.



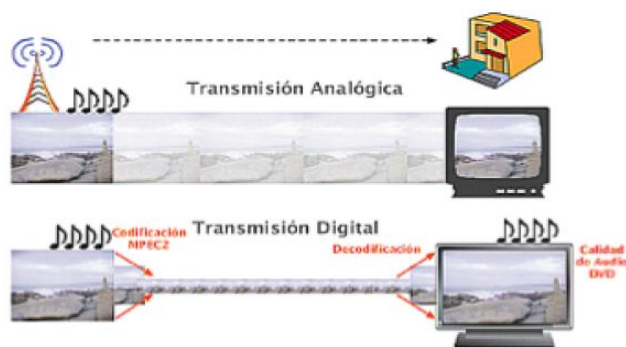


Figura 2.5: Calidad de audio de TDT frente a la televisión analógica. [11]

La televisión digital acepta diferentes formatos de transmisión 480i, 480p, 576i y 576p (*i* para exploración entrelazada y *p* para exploración progresiva), a diferentes resoluciones, lo que permite crear subcanales de transmisión. Estos formatos son conocidos como formatos de definición estándar y los demás llamados de alta definición, aunque, para efectos comerciales, algunos fabricantes han acuñado el término "FULL HD" para hacer referencia exclusiva al formato 1080p. Genéricamente, se habla simplemente de HDTV para referirse a la televisión de alta definición. Gracias a esta variedad de formatos, por ejemplo, un canal de televisión puede optar por transmitir un solo programa en alta definición, o varios programas en definición estándar.

- **Aparición de los servicios interactivos:** La televisión digital incluye canales de retorno que permite al usuario navegar por Internet, realizar su compra semanal o acceder a juegos y concursos a través de su propio televisor. Entre las principales aplicaciones que incluyen servicios interactivos: las guías electrónicas de programación, subtítulos y elección entre cadenas de audio para idiomas.
- **Menores costos de distribución y recepción:** Los costos derivados de la sustitución y modernización de los equipos no presume un aumento significativo, dado que la televisión digital requiere de equipos de menor potencia, logrando de esta manera minimizar la inversión en el mantenimiento de las infraestructuras, es decir para el usuario final las adaptaciones de equipos y antena no supone un costo significativo.
- **Soporte de acceso condicional:** La nueva televisión digital terrestre permite la difusión de contenidos Premium en los que se requiera de una suscripción por parte del usuario.

- **Radiodifusión robusta que solventa problemas de la televisión analógica:** Las mejoras obtenidas de la televisión digital terrestre (TDT) sobre la calidad de la imagen descrita anteriormente, soluciona ciertos problemas específicos de la televisión analógica. En la Figura 2.6 se aprecia tres tipos de problemas en la transmisión de imágenes en la televisión analógica estos son: efecto doble imagen, efecto persiana y el efecto Nieve.
    - **Efecto Doble imagen:** La doble imagen es causada por rebotes en la señal o falta de línea directa entre transmisor y receptor.
    - **Efecto persiana:** El efecto persiana se da debido a las interferencias por otras emisiones analógicas.
    - **Efecto Nieve:** La nieve es un problema debido a un nivel de recepción insuficiente.
- [2]



**Figura 2.6:** Doble imagen, efecto persiana y nieve respectivamente. [11]

### **Desventajas de la TDT:**

- **Necesidad de márgenes de protección adicionales:** Como la TDT es un sistema robusto que requiere tasas de protección menores que las del servicio analógico tradicional, podría esperarse que se necesitase menos canales. Sin embargo, debido al comportamiento de la transmisión digital que evoluciona bruscamente del estado de recepción perfecta a una recepción con gran cantidad de errores, a la hora de planificar es necesario tener en cuenta márgenes de protección adicionales, no incluidos en los servicios de televisión analógicos.
- **Dependencia con el comportamiento del receptor:** En una determinada zona de cobertura, por ejemplo un núcleo poblacional, con niveles de recepción aceptables, se puede dar la circunstancia de que existan usuarios que aseguren no disponer de esas calidades de señal, en las mismas condiciones orográficas y de instalación de otros vecinos. No existe una normativa cerrada al respecto de la homologación de

equipos decodificadores, y esto ocasiona que distintos fabricantes opten por diferentes algoritmos para la correcta recepción de la señal. [12]

- **Dependencia con la señalización en los centros de multiplexado:** Al igual que en el punto anterior, pueden existir incompatibilidades en algunos casos con respecto a la señalización introducida en los centros de multiplexado, que conlleva a problemas de recepción. En cambio en la televisión analógica tradicional no dependía de estas señalizaciones para que la información pueda ser entendida por el receptor. [12]
- **Necesidad de adaptación de la instalación del usuario:** Es posible que se requiera la adaptación a la tecnología de amplificadores, renovación del cableado de la red de distribución si éste introdujese demasiadas pérdidas, tomas de antena e incluso las propias antenas en caso de no estar preparadas para la recepción de la banda más alta de frecuencias.
- **Dificultades de recepción en condiciones degradadas:** Es necesario extremar el cuidado y la calidad de las instalaciones ya que la TDT no permite la recepción en condiciones degradadas y especialmente en las bandas de frecuencia altas que utiliza, siendo muy sensible a las condiciones de su entorno, de lo contrario se obtiene una recepción de TDT con pixelaciones, congelaciones o cortes.
- **Fuerte dependencia con la tasa de error de modulación:** La Tasa de Error de Modulación o, por sus siglas inglesas, MER define un factor que nos informa de la exactitud de una constelación digital. Esta es una herramienta cuantitativa que permite valorar la calidad de una señal modulada digital. Es el equivalente a la información que aporta SNR (Relación señal/ruido), para las modulaciones analógicas. Al igual que esta puede ser expresado en dB o en tanto por ciento como se aprecia en la ecuación 2.1. y la ecuación 2.2.

$$MER(dB) = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{señal}}{P_{error}} \right) \quad \text{Ec. 1}$$

$$MER(\%) = \sqrt{\frac{P_{señal}}{P_{error}}} * 100\% \quad \text{Ec. 2}$$

Donde la variable  $P_{error}$  es el error cuadrático medio y  $P_{señal}$  es el valor cuadrático medio de la señal transmitida.

El cálculo de este factor en transmisión, lleva implícita la demodulación de la señal para la evaluación. En recepción, este parámetro se determina tras la demodulación

propia de la recepción de los datos. En ambos casos, será necesario el uso de la constelación de transmisión normalizada como referencia.

Una escala visual del comportamiento del sistema con respecto a la MER es mostrado en la Figura 2.7, definido gráficamente, como la "dispersión" de puntos respecto al valor esperado. La diferencia entre esos valores se aprecia observando la separación entre dos vectores: uno señalando a un punto ideal de la constelación (vector ideal), y el otro señalando desde un punto medido hacia el punto ideal (vector de error). Se puede afirmar que no siempre un mayor nivel de señal implica una mejor recepción puesto que intervienen también otros factores que pueden llegar a ser incluso críticos, como en este caso la MER.

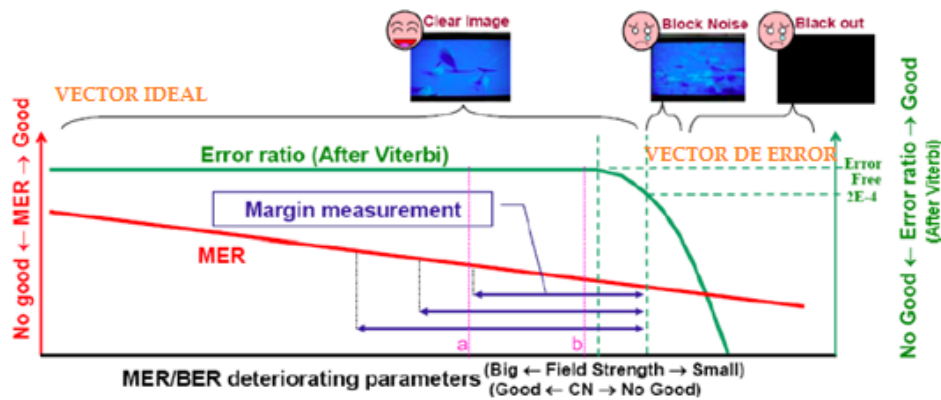


Figura 2.7: Comportamiento de la TDT respecto al MER [13]

### 2.2.5 Estándar ISDB-T

El estándar de televisión digital ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial o Transmisión Digital de Servicios Integrados – Terrestre) está definido como un conjunto de normas creadas en Japón para la transmisión de radio digital y televisión digital, este tipo de estándar está basado en la norma japonesa ISDB, pero a diferencia de este estándar, el sistema ISDB-T tiene por objeto la optimización de la calidad de la señal y la disminución de los costos de fabricación e implementación.

La principal diferencia entre el formato ISDB y el ISDB-Tb es el uso de la compresión de video, H.264/MPEG-4 AVC en el estándar ISDB-T, mientras que el estándar ISDB original utiliza H.262/MPEG-2 Parte 2. A más de ello, el formato ISDB-Tb admite una

velocidad de 30 FPS para transmisiones a dispositivos móviles, mientras que el ISDB está reducido a 15 FPS.

#### **2.2.5.1 Características Técnicas del sistema ISDB-T**

El estándar ISDB-T toma en consideración la conformidad entre la transmisión televisiva y sonido, puesto que este estándar permite suministrar la transferencia de datos que contengan textos, diagramas, imágenes y videos para equipos portátiles, así como imágenes de alta calidad y sonido estéreo. A más de ello tiene un gran potencial para propagar terminales móviles de multimedia, como son: radios para coches y receptores de bolsillo.

A continuación se tiene los requerimientos que han sido considerados durante el desarrollo de estándar ISDB-T:

- El estándar ISDB-T debe ser capaz de entregar una variedad de servicios de video, sonido y datos, para lo cual se ha adaptado múltiples tecnologías como: tecnología multiplex flexible (sistema MPEG-2), y el sistema de codificación de video/audio flexible y de alta eficiencia (MPEG-2 y MPEG AAC).
- ISDB-T deberá ser suficientemente fuerte ante cualquier interferencia multitrayectoria y pérdida de intensidad durante recepción portátil o móvil, por lo que el estándar adoptó el sistema de transmisión OFDM con la tecnología de “Time Interleave”, dando como resultado menor potencia de transmisión, posibilidad de usar antenas de recepción internas y mejores servicios de recepción.
- ISDB-T deberá ser excesivamente flexible para adaptar diferentes configuraciones de servicios y certificar flexibilidad en el uso de capacidad de transmisión, por lo que es estándar usa el servicio One-Seg, es decir usa un segmento del ancho de banda de 6MHz sin necesidad de otro canal ni de otro transmisor, permitiendo ahorrar frecuencias y costos de infraestructura a la compañía transmisora. Además, el receptor One-seg, opera con una recepción de banda muy estrecha, esta operación ahorra consumo de energía.

- ISDB-T deberá adaptar a redes de frecuencia única (SFN), utilizar frecuencias disponibles, y una de las más importantes es ser compatible con servicios análogos existentes y otros servicios digitales.

El estándar ISDB-T utiliza una serie de herramientas únicas en cuanto a codificación de video, de audio, transmisión y recepción de datos y tipo de modulación. En la Figura 2.8 se puede observar con mayor detalle las características técnicas y valores de estos parámetros en el estándar.

Ítem		Contents
Codificación de video		Video MPEG-2 (ISO/IEC 13818-2)
Codificación de audio		MPEG-2 AAC (ISO/IEC 13818-7)
Transmisión de datos		BML (XHTML), ECMA Script
Multiplexación		Sistemas MPEG-2 (ISO/IEC 13818-1)
Acceso condicional		Multi 2
Transmisión		Transmisión ISDB-T
Banda de canal		6MHz, 7MHz, 8MHz
Modulación		OFDM segmentada (13 segmentos / canal)
Modo, guardia		Modo : 1, 2, 3 Tasa de intervalo de guardia : 1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Modulación por portadora		QPSK, 16QAM, 64QAM, DQPSK
Corrección de errores	Interior	Código convolutivo (Tasa de codificación : 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)
	Exterior	(204,188) Reed-Solomon code
Intercalación		Intercalación de tiempo y frecuencia Intercalación de tiempo : 0 - 0.5 seg.
Información de tasa de bitio (depende de los parámetros)		6MHz : 3.7 – 23.2 Mbit/s 7MHz : 4.3 – 27.1 Mbit/s 8MHz : 4.9 – 31.0 Mbit/s
Receptor		Receptor de ISDB-T
Guía de operaciones		Operación de transmisión de ISDB-T

**Figura 2.8:** Características Técnicas del estándar ISDB-T de TDT [8]

### 2.2.5.2 Estructura del estándar ISDB-T

El sistema ISDB-T sistematiza algunos aspectos y los organiza en capas, donde cada una usa los servicios recibidos de la capa inferior en secuencia, entre los aspectos sintetizados se encuentran: la transmisión, modulación, multiplexación, compresión, y canal de interactividad. En la Figura 2.9 se muestra la estructura de capas utilizada por el sistema ISDB-Tb.

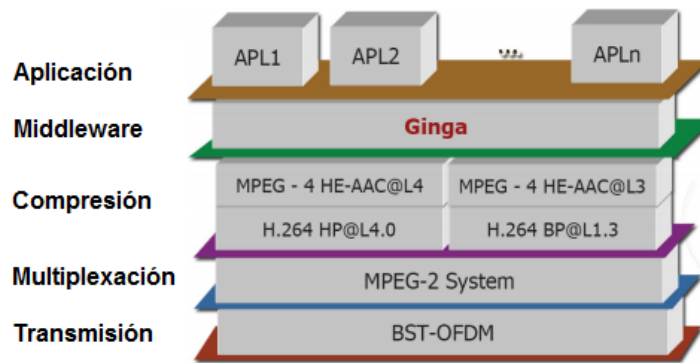


Figura 2.9: Estructura del estándar ISDB-T [4]

- **Capa de Transmisión**

A la capa de transmisión se la conoce también como capa física y esta capa se responsabiliza en la transmisión de la información digital desde la estación de Televisión hasta los televidentes. Para lograr esta transmisión se utiliza modulación OFDM que divide los 6 MHz de ancho de banda utilizable en 13 segmentos de 428.5 KHz cada uno.

- **Capa de Multiplexación**

La capa de multiplexación tiene la función de generar un único flujo de datos, el cual abarcará la información de video, audio y aplicaciones interactivas que serán transmitidos. Para lo que utiliza el sistema MPEG-2, en el cual todos los contenidos transmitidos son multiplexados en un paquete llamado Flujo de transporte (Transport stream).

- **Capa de Compresión**

La capa de compresión es la que se encarga de la supresión de redundancias en las señales de video y audio, de tal manera se logra una disminución significativa de los

bits necesarios para la transmisión de las señales. El ISDB-T usa la técnica de compresión H.264 o MPEG-4 AVC, que al conservar la calidad de la imagen con una tasa de datos menor a su antecesor permite hacer un uso más eficiente del espectro. Para la compresión de audio el ISDB-T hace uso de la técnica de compresión MPEG-2: AAC, así como también MPEG-4: AAC que hace uso de un sistema SBR para la alta eficiencia de codificación de audio tanto para receptores fijos como portátiles.

- **Capa Middleware**

La capa de middleware se encarga de ejecutar la unificación de las capas inferiores de la estructura. A middleware, también se la conoce como Ginga en el estándar brasileño, este permite que las aplicaciones formadas por las estaciones sean compatibles con las plataformas y los receptores.

- **Capa de Aplicación**

La capa de aplicación es responsable de capturar las señales de video, audio y datos de las aplicaciones interactivas; para presentarlas y ejecutarlas inmediatamente a los receptores.

### **2.2.5.3 Señalización, sincronización y estimación de canal del estándar ISDB-T de la TDT**

- **Señalización:** La señalización es utilizada para conocer en recepción qué parámetros se han utilizado para la transmisión de la señal, es decir: número de portadoras, tamaño de la FFT, Code Rate empleado, modulación, intervalo de guarda, etc. Además constituye la primera información que el receptor va a capturar para programar el proceso de demodulación, los parámetros de señalización del estándar ISDB-T se situarán de dos formas distintas: de forma dispersa en tiempo y frecuencia, o siempre sobre determinadas portadoras (portadoras piloto).
- **Sincronización:** La sincronización se traduce principalmente en ignorar la señal recibida durante el periodo del intervalo de guarda y al mismo tiempo, seleccionar la frecuencia y la ventana para la FFT adecuadas.
- **Estimación de canal:** Como los pilotos de la señal son conocidos tanto en transmisión como en recepción, se puede estimar el comportamiento del canal



comparando los pilotos recibidos con los que teóricamente se han transmitido. De esta forma se puede recuperar parte de la señal, siempre y cuando el nivel de ruido sea bajo y no degrade demasiado la señal recibida. Esto está directamente relacionado con el nivel de SNR necesario. [14]

#### 2.2.5.4 Tasa de codificación, mapeo y entrelazado del estándar ISDB-T de TDT

En el estándar ISDB-T se implementa el entrelazado de bits y entrelazado de bytes, además se añade un conjunto de bits de paridad por símbolo, también llamado Code Rate, expresado con la relación X/Y, cuyas opciones son: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8, donde X son los bits de datos reales e Y son los bits transmitidos, es decir las mismas que se emplean en DVB-T.

Respecto al esquema de modulación que se puede utilizar en la etapa de Mapping, ISDB-Tb incorpora una nueva modulación DQPSK, además de las que ya implementaba DVB-T (QPSK, 16-QAM y 64-QAM):

**DQPSK** (Differential QPSK): La modulación DQPSK utiliza un voltaje de +/- 4 niveles que son generadas para la modulación de fase, debido a que los bits son tomados en pares la cantidad de transiciones de fase son solamente la mitad del número de transiciones de bit. Esto significa que la velocidad de transmisión en baudios es la mitad de la tasa de bits. El resultado de esto es que tanto DQPSK, como QPSK, requieren solamente la mitad del ancho de banda de BPSK o FSK para la misma tasa de información transmitida (bits por segundo). En la Figura 2.10 se puede apreciar el diagrama de constelación de la modulación DQPSK [15]

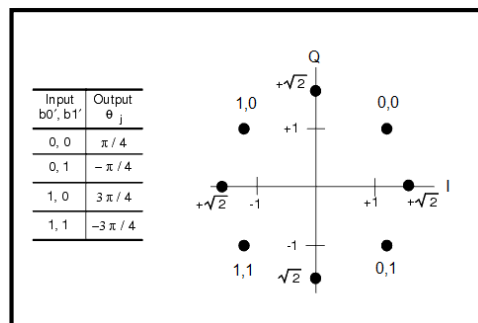


Figura 2.10: DQPSK Differential QPSK [15]

### **2.2.6 Estándar DVB-T**

El estándar DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) es el estándar de televisión digital terrestre creado por la organización europea DVB. En la transmisión de cada frame consigue grandes capacidades de transmisión (de hasta 30 Mbps), gracias a la utilización de miles de subportadoras moduladas a una tasa muy baja (cada subportadoras a unos pocos kbps). Como cada subportadora transmite únicamente una pequeña parte de la información, esta puede ser eliminada durante la propagación a lo largo de un canal terrestre ya sea por desvanecimientos de señal debido a la propagación multicamino, ruido en el canal, o interferencias, es así como sólo esa pequeña cantidad de información se perderá.

El estándar DVB-T utiliza modulación COFDM que a diferencia de OFDM tiene un código para que los datos estén protegidos del ruido e interferencia que se producirán en la transmisión, lo que permite al demodulador recuperar los datos perdidos utilizando códigos de protección mediante información redundante. En COFDM, la carga útil de datos no depende del número de subportadoras, por lo tanto, aunque en DVB-T se tenga una configuración de 8K (6818 portadoras), es decir use 4 veces más subportadoras que la configuración 2K (1706 portadoras), se consiguen los mismos bits rates para ambos sistemas. [14]

#### **2.2.6.1 Características Técnicas del estándar DVB-T**

El sistema DVB-T se define como el bloque funcional de equipamiento que convierte las señales de televisión codificadas MPEG-2/3 en señales para la radiodifusión digital terrestre. El estándar DVB-T fue especificado por ETSI y su última versión es de enero de 2009 [ETSI - EN 300 744 v1.6.1 - 2009].

El sistema DVB-T, al igual que los otros sistemas modernos de radiodifusión terrestre, utiliza la modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) para la transmisión de las señales. Las características técnicas de este estándar son las siguientes:

- Tres opciones de modulación (QPSK, 16QAM, 64QAM)
- Cinco diferentes tasas de FEC (Forward Error Correction)
- Cuatro opciones de intervalos de guarda (1/4, 1/8, 1/16, 1/32)
- Dos modos de operación de portadoras: 2k u 8k
- Puede operar en canales con anchos de banda de 6, 7 u 8 MHz con video a 50 Hz o 60Hz

El sistema DVB-T es compatible con los protocolos de audio MPEG-1, MPEG-2 y AC-3. Posteriormente se realizaron desarrollos no contemplados inicialmente en el estándar, para el soporte de MPEG-4. [1]

#### **2.2.6.2 Estructura del estándar DVB-T**

El estándar DVB-T define una capa física y otra capa de enlace de datos de un sistema de distribución. En el que los dispositivos interactúan con la capa física mediante una interfaz serial periférico (SPI), una interfaz serie síncrono (SSI) o una interfaz serie asíncrono (ASI). Todos los datos se transfieren en flujos de transporte MPEG-2 con algunas restricciones adicionales (DVB-MPEG). [12]

La capa física pertenece al nivel 1 del modelo OSI. En el cual se definen las características eléctricas, mecánicas y procedimentales de la comunicación en red. Es rigurosamente necesaria su presencia en cualquier modelo. El nivel físico refiere a las transformaciones que se forman a la secuencia de bits para poder transmitirlos de un lugar a otro. [1]

La capa de enlace de datos es responsable de la transferencia fiable de la información a través de un circuito de transmisión de datos. El nivel de enlace es el segundo nivel del modelo OSI. Recibe peticiones del nivel de red y utiliza los servicios del nivel físico. El objetivo del nivel de enlace es lograr que la información fluya libre de errores entre dos máquinas que estén conectadas directamente (servicio orientado a conexión). [1]

### 2.2.6.3 Señalización, sincronización y estimación de canal del estándar DVB-T de TDT

- **Señalización**

La señalización se usa para conocer en la recepción qué medidas se han usado para realizar la transmisión de la señal, en las cuales tenemos: número de portadoras, tamaño de la FFT, Code Rate empleado, modulación, intervalo de guarda, etc. Los parámetros de señalización del estándar DVB-T se situarán sobre determinadas portadoras piloto, las mismas que pueden ser pilotos dispersas, pilotos continuos, pilotos TPS. A continuación describiremos cada una de las portadoras piloto.

- **Pilotos continuos:** Estas señales de referencia se colocan en ubicaciones de subportadoras fijas y su ubicación no varía de un símbolo a otro. Hay 45 pilotos continuos en el “modo 2K” y 177 pilotos continuos en el “modo 8K”.
- **Pilotos dispersos:** Los pilotos dispersos se usan para derivar la estimada de canal suponiendo que el canal es casi estático, en el que la ubicación de estos pilotos se desplaza mediante tres subportadoras en cada símbolo de OFDM y como resultado el patrón piloto se repite cada cuatro símbolos de OFDM.
- **Pilotos de TPS:** Los pilotos TPS (referencia de señalización de parámetros de transmisión) se usan para llevar los parámetros de transmisión, en el que un conjunto fijo de 17 subportadoras para el “modo 2K” y 68 subportadoras para el “modo 8K” se han designado como subportadoras piloto de TPS.

- **Sincronización**

La sincronización en el estándar DVB-T es un aspecto muy importante, ya que utiliza una modulación OFDM es decir un sistema de modulación multiportadora. Cualquier offset o desajuste de frecuencia o de fase entre la portadora en transmisión y la portadora en recepción causa interferencias entre portadoras, por lo que se destacan tres aspectos principales de sincronización en los sistemas OFDM.

- **La sincronización de tiempo de símbolo:** determina la muestra correcta de inicio de símbolo antes de la demodulación mediante FFT.
- **La sincronización de frecuencia de portadora:** se utiliza para eliminar la frecuencia offset causada por el desajuste entre los osciladores locales del transmisor y el receptor.

- **La sincronización del reloj de muestreo:** se utiliza para minimizar los errores del reloj de muestreo debido al desajuste de los osciladores.

- **Estimación de canal**

Para realizar la estimación del comportamiento del canal se hace la comparación de los pilotos recibidos con los que se han transmitido teóricamente. De tal manera se puede recuperar parte de la señal, siempre y cuando su ruido sea de bajo nivel y no degrade demasiado la señal recibida.

#### **2.2.6.4 Tasa de codificación, mapeo y entrelazado del estándar DVB-T**

En el estándar DVB-T se implementa el entrelazado de bits y entrelazado de bytes, además se añade un conjunto de bits de paridad por símbolo, también llamado Code Rate, expresado con la relación X/Y, cuyas opciones son: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8, donde X son los bits de datos reales e Y son los bits transmitidos.

El estándar DVB-T realiza tres tipos de modulaciones para cada subportadora QPSK, 16-QAM y 64-QAM, las mismas que se encuentran descritas a continuación.

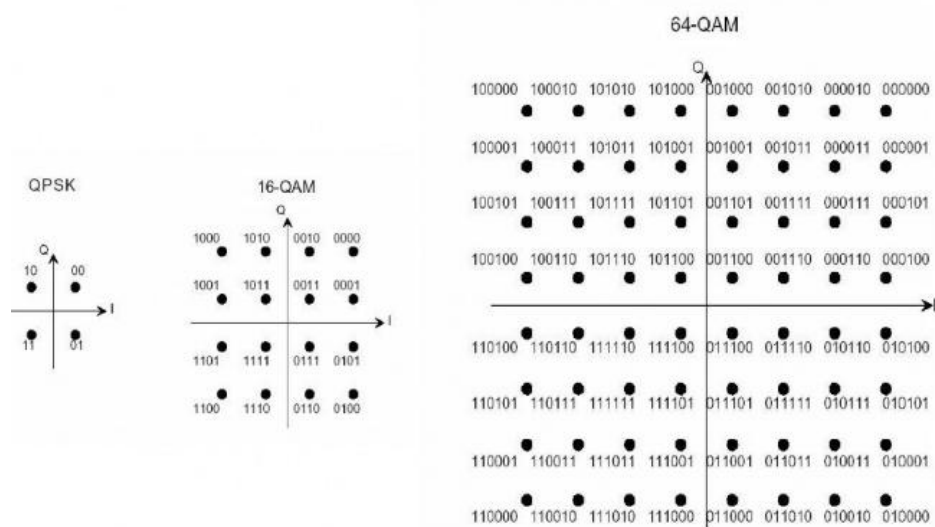
**QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying):** QPSK es un algoritmo de modulación de fase, la que es la más robusta de entre las tres modulaciones ocupadas por el estándar DVB-T (QPSK, 16-QAM y 64-QAM). Posee un desplazamiento de fase de 4 símbolos, donde cada símbolo se encuentra desplazados entre sí 90°. Normalmente se usan como valores de salto de fase 45°, 135°, 225°, y 315°, así cada símbolo aporta 2 bits.

**16-QAM (16-Quadrature Amplitude Modulation):** QAM es una señal en la que dos portadoras desplazadas en fase en 90 grados se modulan y la salida resultante se compone de ambas variaciones de amplitud y fase. En este caso, cada símbolo aporta 4 bits.

**64-QAM (64-Quadrature Amplitude Modulation):** QAM es una señal en la que dos portadoras desplazadas en fase en 90 grados se modulan y la salida resultante se compone de ambas variaciones de amplitud y fase. En la modulación 64-QAM se aporta

6 bits por símbolo, de manera que es la menos robusta de las tres modulaciones ocupadas por el estándar DVB-T (QPSK, 16-QAM y 64-QAM), pero genera bit-rates mayores. Es útil cuando el canal no tiene demasiados desvanecimientos. [14]

En la Figura 2.11 se muestran ejemplos de los diagramas de constelación de las tres modulaciones ocupadas en el estándar DVB-T (QPSK, 16-QAM y 64-QAM).



**Figura 2.11:** Ejemplos de modulaciones empleadas en el mapeo de las subportadoras con DVB-T [14]

### 2.2.7 Estándar DVB-T2

El estándar DVB-T2 es la segunda generación de las tecnologías empleadas para la radiodifusión digital terrestre de señales de vídeo. Durante los años que ha estado en vigor DVB-T la tecnología ha evolucionado constantemente, apareciendo nuevos estándares de radio comunicaciones basadas en OFDM y que además implementaban diferentes codificaciones, entrelazados, patrones de pilotos y otras técnicas que ayudan a hacer las comunicaciones de más calidad y fiabilidad.

Este sistema permite transmitir audio digital comprimido, vídeo y otros datos en "physical layer pipes" (PLP), usando la modulación OFDM. La mayor tasa de bits que ofrece, con respecto a su progenitor DVB-T, forma un sistema más apropiado para transmitir señales de televisión de alta definición HD. [16]

### **2.2.7.1 Mejoras respecto a DVB-T**

Basándose en el éxito de DVB-T, la especificación DVB-T2 reúne los últimos avances en la modulación y la protección contra errores, logrando aumentar la velocidad en la transmisión de bits y optimizar la robustez de la señal. Para alcanzar estas mejoras, se han desarrollado diversos cambios minuciosos a las características de la capa física y a la configuración de la red, para que de esta manera coincida con los parámetros de propagación del canal de frecuencia. [17]

Las necesidades comerciales del estándar DVB-T2 solicitaron un aumento de capacidad del 30% en comparación con los estándares DVB-T en circunstancias de recepción equivalente. No obstante, las pruebas de campo actual proponen que la ganancia de capacidad puede estar más cerca de 65%. [17]

Tanto DVB –T como DVB -T2 son estándares basados en la modulación OFDM, pero a diferencia de DVB-T este estándar es compatible con un grupo más amplio de parámetros de transmisión. De esta manera se permite un mayor tamaño de la FFT (16K y 32K) para brindar más datos, extender el uso del ancho de banda y optimizar su robustez del ruido de impulso, para esta última se definen las nuevas fracciones de intervalo de Guarda (GIF). [12]

El objetivo principal del estándar DVB-T2 es el uso de un mayor ancho de banda (40Mbps en lugar de 24Mbps) que permitirá difundir más servicios (HDTV, SDTV y/o IP) y mejorar la calidad de imagen. A continuación se observa mediante la Tabla 2.3 una comparación de los estándares DVB-T y DVB-T2 sobre diferentes parámetros técnicos como modulación, intervalo de guarda, FEC, tamaño FFT, ancho de banda, entre otros.

**Tabla 2.3:** Comparación de la capacidad de red entre DVB-T y DVB-T2 [18]

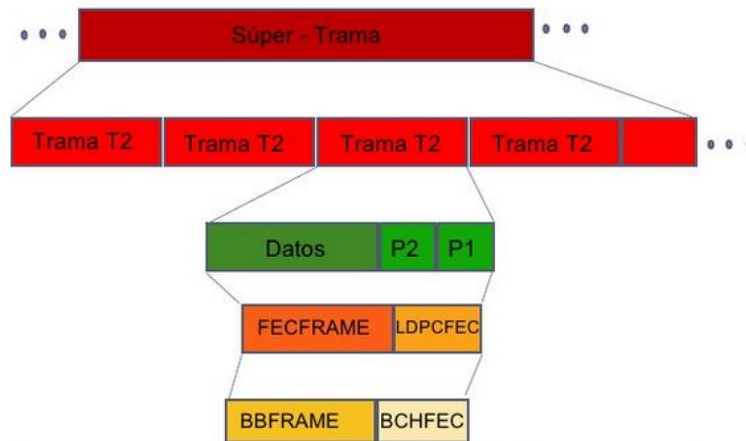
	<b>DVB-T</b>	<b>DVB-T2</b>
<b>Tamaño FFT</b>	2K	32K
<b>Intervalo de guarda</b>	1/32	1/128
<b>Modulación</b>	64 QAM	256 QAM
<b>FEC</b>	2/3 CC + RS (8%)	2/3 LDPC + BCH (0.3%)
<b>Pilotos Disparcidos</b>	8%	1%
<b>Pilotos Continuos</b>	2,6%	0,35%
<b>P1/P2 overhead</b>	0%	0,7%
<b>Ancho de Banda</b>	Estándar	Extendida
<b>Capacidad</b>	24,1 Mbit/s	40,2 Mbit/s

### **Estructura del sistema DVB-T2**

La estructura de trama física DVB-T2 está constituida por supertramas, tramas T2, FEF (Future Extension Frames) y símbolos. La longitud máxima duración de una trama T2 es 250 ms, de modo que todo el sistema está configurado para ser lo más cerca posible a este valor máximo y tener un mejor rendimiento. A continuación se puede apreciar en la en la Figura 2.12 la división de la trama de T2 en tres partes: una de preámbulo P1 que es un símbolo robusto para identificar una señal DVB-T2, un preámbulo P2 que lleva la señalización que describe el contenido y la estructura de la trama T2 y símbolos de datos que lleva los servicios DVB – T2 dentro de símbolos OFDM.

La estructura de trama lógica incluye BB –Frames (trama de banda base), tramas de entrelazado y TI- bloques (bloques de trama de entrelazado). Una FEC-Frame lleva exactamente un BB-Frame agregando BCH y LDPC, las cuales son utilizadas para corrección de errores FEC. [17]





**Figura 2.12:** Estructura Física de la Trama [18]

### 2.2.7.2 Requisitos Comerciales de DVB-T2

Como primer paso en el desarrollo de la especificación DVB-T2, DVB Project desarrolló los requisitos comerciales clave para la especificación de esta propuesta. Estos colocan algunas limitaciones en la tecnología que pueden utilizarse, pero también se aseguró de que la nueva especificación podría cumplir con las necesidades del mercado de difusión existente.

Uno de los requisitos comerciales aprobados por el Proyecto DVB era el hacer uso de antenas de recepción interna y que la infraestructura existente en el transmisor proporcione un mínimo de 30% de aumento de la capacidad, en comparación con el estándar DVB-T en condiciones de recepción similares, además de cumplir con los niveles de interferencia y los requisitos de la máscara de espectro del Acuerdo de Ginebra de 2006 dado por la ITU en cuanto a la resolución sobre la planificación del servicio de radiodifusión digital terrestre. La especificación también está diseñado para disminuir antenas fijas sobre las azoteas. [12]

### 2.2.7.3 Características de Capa Física

Al igual que el estándar DVB-T, la especificación DVB-T2 utiliza la modulación OFDM (Orthogonal Frecuencia División Multiplex), de tal manera que la disponibilidad

de un gran número de modos permite el mismo nivel de flexibilidad para satisfacer la zona específica de la aplicación como con el estándar DVB-T. No obstante, la adición del modo 256-QAM en el estándar DVB-T2 permite la capacidad de aumentar el número de bits agregados por datos de celda y estos se benefician por la mejora de FEC (Forward Error Correction) que da un gran impulso de la capacidad.

La especificación DVB-T2 utiliza LDPC (Low density parity check) en combinación con el BCH (Bose Chaudhuri Hocquengham) para protegerse de altos niveles de ruido e interferencias. Mientras que en comparación con el estándar DVB-T, este hace uso de codificación convolucional y Reed-Solomon.

Al igual que con la norma DVB-T, la especificación DVB-T2 hace uso de patrones piloto dispersos en el uso de los receptores para compensar los cambios en los canales como resultado del tiempo y frecuencia. La especificación del estándar DVB-T2 tiene una flexibilidad adicional de proporcionar la elección de ocho patrones piloto dispersos, los mismos que pueden ser seleccionados en base sobre el tamaño de la FFT y la fracción de intervalo de guarda adoptado para maximizar los datos de carga útil.

La especificación del estándar DVB-T2 brinda una incomparable robustez y protección de niveles para cada servicio por separado dentro de un flujo de transporte transmitido por una señal en determinado canal. Lo cual permite que cada servicio tenga un modo de modulación único dependiendo de la robustez de la señal requerida a través de la utilización de los canales de la capa física (PLP). [17]

### **2.2.8 Cuadro Comparativo ISDB-T, DVB-T y DVB-T2**

En la Tabla 2.4 se observa una comparación entre parámetros de los estándares ISDB-T, DVB-T, DVB-T2 en cuanto a su ancho de banda, modulaciones, intervalo de guarda, FFT, tasa de bits de información y corrección de errores. Ampliamente se puede apreciar que el estándar DVB-T2 posee mejoras en todas estas características que servirán de base para la simulación de la capa física propuesta en el presente proyecto de investigación.

**Tabla 2.4:** Cuadro Comparativo ISDB-T, DVB-T, DVB-T2 (Investigadora basada en la Tesis con el Tema “Estudio de Televisión Digital para estándares de TDT”)

<b>Parámetros</b>	<b>ISDB-T</b>	<b>DVB-T</b>	<b>DVB-T2</b>
<b>Ancho de Banda</b>	5.57 MHz	6, 7, 8 MHz	1.5, 5,6,7,8,10 MHz
<b>Modulación</b>	DQPSK,QPSK,16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256 QAM
<b>Intervalo de Guarda</b>	1/4, 1/8, 1/16 ó 1/32.	1/4,1/8,1/16, 1/32.	1/4,19/128,1/8, 19/256,1/16, 1/32, 1/128
<b>FFT</b>	1 (2K), 2 (4K) ó 3 (8K).	2K	32K
<b>Tasa de bits de información</b>	3.7 – 23.2 Mbit/s	29 Mbit/s	47.8 Mbit/s
<b>Corrección de Errores</b>	3/4 CC + 204.88 RS	2/3 CC + RS (8%)	2/3 LDPC + BCH (0.3%)

### 2.2.9 Software Matlab

El software MATLAB es el lenguaje de alto nivel que tiene un entorno interactivo utilizado por millones de ingenieros y científicos de todo el mundo. Al cual se le permite explorar, visualizar ideas y colaborar en todas las disciplinas, incluyendo la señal y el procesamiento de imágenes, comunicaciones, sistemas de control, y las finanzas computacionales.

MATLAB además ofrece una familia de soluciones específicas de aplicaciones llamadas cajas de herramientas. Las cuales son de gran importancia para la mayoría de los usuarios del programa gracias a su interfaz simple y a la versatilidad para resolver problemas en aplicaciones de tecnologías especializadas. Las cajas de herramientas son colecciones completas de las funciones de MATLAB (M-archivos) que amplían el entorno del programa para resolver obstáculos y dificultades en procesos de diseño y programación. Las áreas en las que las cajas de herramientas están disponibles incluyen

procesamiento de señales, sistemas de control, las redes neuronales, lógica difusa, ondas, la simulación, y muchos otros.

### 2.2.9.1 Ventanas de software MATLAB

MATLAB utiliza varias ventanas de despliegue. La vista por defecto, que se presenta en la Figura 2.13 incluye: la pestaña `command window` (ventana de comandos) a la derecha, apiladas a la izquierda se encuentran las ventanas `current directory` (directorio actual), `workspace` (área de trabajo) y `command history` (historia de comandos). A continuación se describen cada una de las ventanas.

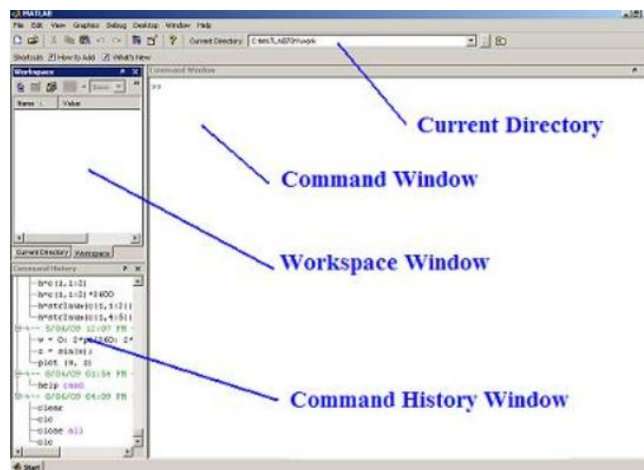


Figura 2.13: Ventanas de software MATLAB [19]

**Command Window (Ventana de comandos):** Es la ventana donde introducimos los comandos y sentencias para que el programa las ejecute.

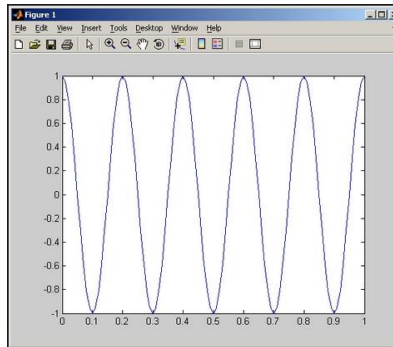
**Work space (Ventana del área de trabajo):** En esta ventana se encuentran los valores que previamente habíamos asignado a las variables.

**Command History (Ventana de directorio actual):** En la ventana de directorio actual se trata de un registro donde aparecen los distintos comandos que hemos introducido con su correspondiente fecha de ejecución.

**Current Directory (Ventana de documento):** La ventana de documento es el lugar donde se encuentran archivados los programas que hemos realizado con Matlab. [19]

**Handle Graphics (Ventana de gráficos):** Este es el sistema de gráficos MATLAB. Incluye comandos de alto nivel para la visualización bidimensional y tridimensional de datos, procesamiento de imágenes, animación y gráficos de presentación. También

incluye comandos de bajo nivel que le permiten personalizar totalmente el aspecto de los gráficos, así como para construir completas interfaces gráficas de usuario en las aplicaciones de MATLAB. La ventana de gráficos se abre automáticamente, como se observa en la Figura 2.14. [20]



**Figura 2.14:** Ventana de Gráficos del software Matlab [20]

**Edit Window (Ventana de edición):** La ventana de edición se abre al elegir **File** de la barra de menú, luego **New** y, finalmente, **M-file**. Esta ventana le permite escribir y guardar una serie de comandos sin ejecutarlos. También puede abrir la ventana de edición al escribir **edit** en el prompt de comando o al elegir el botón New File (archivo nuevo) en la barra de herramientas (toolbar).

### 2.2.9.2 Comandos Básicos

A continuación se nombra los comandos básicos usados por el software Matlab:

#### **Comando if, elseif, else**

La sentencia if es ejecutada si la condición es verdadera, la sintaxis de este comando se indica a continuación:

if *expression*

*comandos a ejecutar*

elseif *expression*

*comandos a ejecutar*

else

*comandos a ejecutar*

end

La sentencia **end** termina el bloque para evaluar y ejecutar un grupo de sentencias cuando la expresión es verdadera. Mientras que la sentencia **elseif** y **else** son opcionales, y estas se encargan de ejecutar sentencias sólo cuando las expresiones anteriores en el caso de bloque son falsas. Un bloque **if** puede incluir múltiples sentencias **elseif**. Una expresión evaluada es verdadera cuando el resultado no es vacío y contiene todos los elementos no nulos (lógicos o numéricos real). De lo contrario, la expresión es falsa.

### Comando for

La sentencia for es ejecutada especificando el número de veces que se va a realizar, a continuación se observa la sintaxis del comando.

```
for index = [matriz]  
    comandos a ejecutar  
end
```

La estructura del bucle **for** es simple, la primera línea identifica el bucle y define un índice, que es un número que cambia en cada paso a través del bucle. Después de la línea de identificación viene el grupo de comandos que se quiere ejecutar. Finalmente, la terminación del bucle se identifica mediante el comando **end**.

### Comando while

Los bucles **while** son similares a los bucles **for**. La gran diferencia es la forma en que MATLAB decide cuántas veces repetir el bucle. Los bucles **while** continúan hasta que se satisface algún criterio. La sintaxis de un bucle while es:

```
while expression  
    comandos a ejecutar  
end
```

Los bucles **while** también se pueden usar para contar cuántas veces una condición es verdadera al incorporar un enunciado **if**. [20]

## 2.3. Propuesta de Solución

Después de realizar el análisis de los diferentes estándares y su importancia dentro de la televisión digital terrestre se propone la implementación de un prototipo para la simulación de la capa física del estándar DVB-T2 utilizado en Televisión Digital

Terrestre (TDT), el cual ayudará a la concepción teórica-práctica del funcionamiento del estándar, con respecto a los demás estándares para TDT y en particular al ISDB-Tb adoptado por Ecuador.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Modalidad de la Investigación**

El presente proyecto se realizó bajo la modalidad de investigación aplicada, ya que se centró en la aplicación de conocimientos y tecnología para la solución de problemas específicos en el desarrollo de los objetivos planteados en el tema de investigación. Además, éste proyecto permitió mantener una relación directa entre las Instituciones académicas, pues busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos; la misma que ayudó en la simulación del estándar DVB-T2 para Televisión Digital Terrestre.

##### **3.1.1 Investigación Analítica**

La investigación se realizó bajo la modalidad analítica al contrastar las distintas variables que intervinieron en el análisis práctico de TDT. Además por enfatizar la proposición de teorías correspondidas al estándar DVB-T2 para TDT, que se desarrolló con la propuesta. Permitted dar utilidad a los conocimientos obtenidos con la investigación en la práctica, y beneficio como aporte bibliográfico para los estudiantes de la Universidad Técnica de Ambato.

##### **3.1.2 Investigación Documental Bibliográfica**

La investigación se realizó bajo la modalidad bibliográfica, a través de diferentes fuentes de información, tanto en libros como publicaciones sobre el estándar DVB-T2 en sitios digitales.



La investigación fue también de modo documental porque amplió el conocimiento de diferentes enfoques teóricos, contextualizaciones, criterios diversos y teorías de expertos; efectivizando la fundamentación teórica-práctica del estándar DVB-T2, utilizado en TDT.

### **3.2 Recolección de Información**

La recolección utilizó un procedimiento ponderado en instrumentos para el registro de información como: documentos, herramientas informáticas, aplicaciones de computadora, lenguajes de programación, etc.

Se identificó el problema suscitado debido a que en el Ecuador aún se sigue utilizando el estándar ISDB-T que en comparación al desarrollo reciente del estándar DVB-T2 se convierte en una tecnología obsoleta y poco escalable, en cuanto a la operatividad de la difusión de Televisión Digital Terrestre (TDT). Además la mejora en los beneficios que posee el sistema DVB-T2 permite brindar más servicios (HDTV, SDTV y/o IP) y mejorar la calidad de imagen, demostrados en países con alta tecnología para la televisión digital que ya cuentan con este sistema.

Se recolecto información relevante sobre el estándar DVB-T2, analizo su funcionamiento al trabajar con canales digitales y entenderá su operatividad en la arquitectura lógica, la forma de procesar, codificar y comunicar las señales de audio, video y datos; como también el uso inteligente de la plataforma existente de antenas.

Paulatinamente, se fue desarrollando en un lenguaje de programación de alto nivel, como MATLAB; varios prototipos que simulen eficazmente el contexto del estándar DVB-T2. Finalmente, se implementó un prototipo de simulación de la capa física del estándar DVB-T2 con excelentes características de emulación, y que presente al usuario una concepción entendible de este paradigma internacional.

### **3.3 Procesamiento y Análisis de Datos**

Una vez obtenida la información apropiada de la investigación, esta se sometió a un proceso de análisis, en el cual se enfatizaron los datos más importantes del tema de investigación.

### **3.4 Desarrollo del Proyecto**

A continuación se menciona los pasos para el desarrollo del prototipo de simulación de la Capa Física del estándar DVB-T2 utilizado en Televisión Digital Terrestre.

- Elaboración de un cuadro comparativo entre el estándar ISDB-Tb y el DVB-T2.
- Análisis del diagrama de bloques del prototipo de simulación del estándar DVB-T2.
- Especificación del prototipo de simulación del estándar DVB-T2.
- Diseño y arquitectura del prototipo de simulación del estándar DVB-T2.
- Programación del prototipo de simulación del estándar DVB-T2.
- Pruebas del prototipo de simulación del estándar DVB-T2.

## **CAPÍTULO IV**

### **PROPUESTA**

#### **4.1 Análisis de Factibilidad**

Con los avances tecnológicos que se desarrollan a nivel mundial, se han dado cambios significativos en las transmisiones de televisión, es decir con la digitalización de los sistemas, especialmente con ISDBT es posible obtener una mejor calidad de imagen y sonido, cambiar la recepción portátil y móvil, conectarse a internet desde un televisor pantalla plana, realizar juegos online.

El proceso de digitalización permite que todo tipo de datos utilizados para la prestación de servicios como TV, radio, teléfono, etc, se transformen en un solo tipo de unidades básicas de información como son los bits, de esta forma, todo mensaje que es susceptible de transformarse en señal eléctrica y ser codificado digitalmente puede almacenarse en un soporte informático.

Se debe tener en cuenta que el periodo de digitalización en el Ecuador en cuanto a la Televisión Digital Terrestre se alcanzará en el año 2018 según el Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información, es por ello que a inicio de este periodo no se logrará una explotación total de los servicios que la televisión digital terrestre brinda. En el presente capítulo se pretende ver la estructura y las principales características para la simulación de la capa física del estándar DVB-T2 de TDT como es el entrelazado, codificación, modulación, construcción de la trama y la generación de la señal OFDM a través de la codificación y simulación del prototipo utilizando el

software Matlab, que gracias a sus herramientas e interfaz gráfico permite la elaboración del proyecto de investigación y se encuentra al alcance de nuestras manos.

#### 4.2 Estructura del estándar DVB-T2 [22]

El estándar DVB-T2 define una nueva estructura de trama con el propósito de mejorar el funcionamiento de la comunicación, en la cual la entrada del sistema puede ser uno o más flujos de transporte o flujos genéricos, mientras que la salida del sistema puede ser una o más señales OFDM con el fin de transmitir en canales de RF.

Es decir el estándar puede tener una o múltiples antenas tanto en el transmisor como en el receptor, por lo tanto existen diferentes sistemas de comunicación que se definen a continuación:

- **SISO:** El sistemas SISO (Single Input, Single Output) tiene una entrada única para la transmisión y salida única para la recepción, por lo que es la forma más simple del sistema de comunicación. La ventaja de un sistema de SIS es su simplicidad, ya que SISO no requiere de diversidad ni de procesamientos adicionales para utilizarse.
- **SIMO:** El sistema SIMO (Single Input, Multiple Output) se produce cuando el transmisor tiene una sola antena y el receptor tiene múltiples antenas, esto también se conoce como diversidad de recepción. A menudo se utiliza para habilitar un sistema receptor que recibe señales de un número de fuentes independientes para combatir los efectos de la fading (Su intensidad se reduce cuando pasan por la lluvia o nieve). SIMO tiene la ventaja que es relativamente fácil de implementar aunque tiene la desventaja en el que se requiere procesamiento en el receptor.
- **MISO:** El sistema MISO (Multiple Input, Single Output) se produce cuando hay múltiples antenas de transmisión en el fuente y una antena receptora única, también se la llama diversidad de transmisión. La ventaja de utilizar MISO es que las múltiples antenas y la redundancia de codificación / de procesamiento se

mueve desde el receptor al transmisor, lo que reduce significativamente el nivel de procesamiento requerido en el receptor para la codificación de redundancia.

- **MIMO:** El sistema MIMO (Multiple Input, Multiple Output) se produce cuando existen múltiples antenas en transmisión y múltiples antenas en la recepción, el sistema puede ser utilizado para proporcionar mejoras tanto en la robustez del canal como el rendimiento de canal, para lo cual es necesario ser capaz de utilizar la codificación de los canales para separar los datos de los diferentes caminos.

En la Figura 4.1 se observa el diagrama de bloques del sistema DVB-T2 constituido por varios módulos principales que de manera general se describen a continuación: procesamiento de entrada, entrelazado de bits, codificación y modulación, construcción de la trama y generación de señal OFDM. Dentro de cada uno de los bloques existen diferentes submódulos con el fin de dividir y optimizar las tareas específicas de cada uno de ellos.



Figura 4. 1: Diagrama de Bloque del sistema DVB-T2 [3]

Para la realización del prototipo de simulación del estándar DVB-T2 se utiliza el modelo de transmisión SISO anteriormente mencionado, debido a que es un sistema de comunicación que tiene una entrada única para la transmisión y salida única para la recepción, por lo tanto su funcionamiento encaja de manera óptima para los requisitos del interfaz de simulación en Matlab utilizados en el desarrollo del proyecto.

### 4.3 Capa Física del estándar DVB-T2

La capa física PLP (Physical Layer Pipe) del estándar DVB-T2 permite robustez de la señal logrando un mejor servicio en la comunicación de datos, video y audio, de

manera que cada PLP puede tener su propia modulación, tasa de código FEC y el entrelazado. En la Figura 4.2 se aprecia una representación de la diversidad de PLPs que un canal de frecuencia DVB-T2 es capaz de transmitir.



Figura 4. 2: Concepto PLP [18]

Un multiplexado de DVB-T2 puede llevar a una única PLP, o múltiples PLP, de tal manera se puede decir que un sistema de T2 puede transmitir un máximo de 255 PLP por multiplexado.

Existen 3 tipos de PLP:

- PLP común de tipo 0 que lleva la información extraída de otra PLP de datos tales como la guía de programas, u otra información común.
- PLP tipo 1, la cual contiene 1 corte por trama T2
- PLP tipo 2 contiene varios cortes para llevar los datos reales.

La PLP de datos de tipo 1 que se aprecia en la Figura 4.3 contiene un solo corte por cada trama T2 y se puede utilizar para los servicios que requieren un buen ahorro de energía, mientras que en el PLP de datos de tipo 2 que se aprecia en la Figura 4.4 se realiza en múltiples sub-cortes por cada trama T2, incrementando la diversidad de tiempo y ofreciendo una mejor robustez para servicios móviles. Es por ello que el número de sub-cortes debe ser tan grande como sea posible. [18]

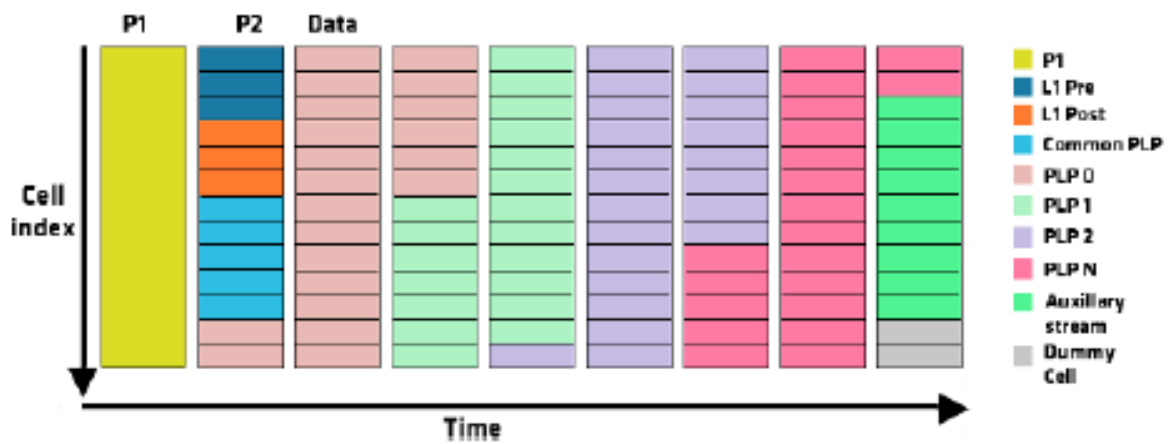


Figura 4. 3: PLP tipo 1 con un corte por T2 Frame [18]

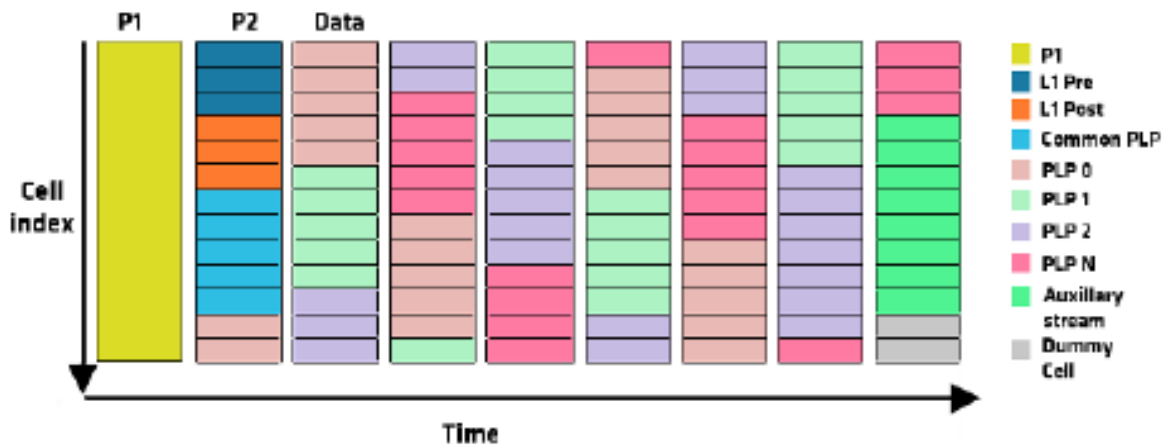
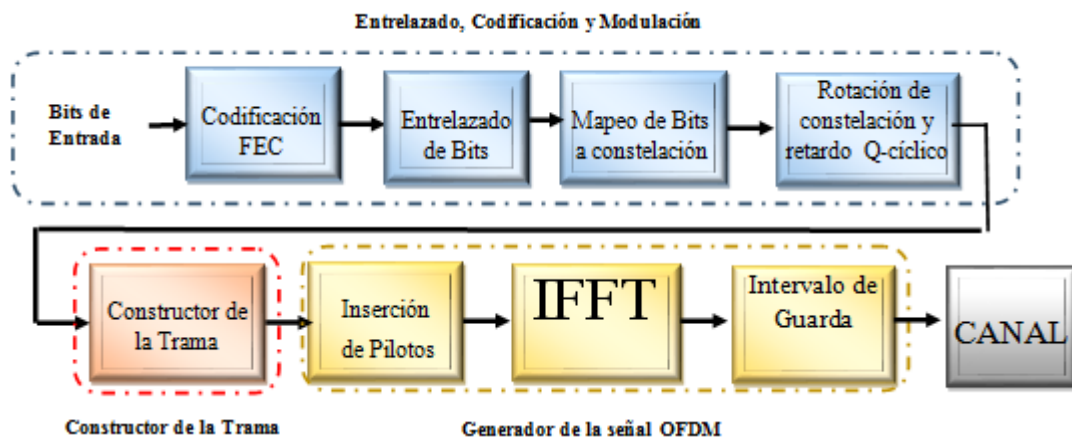


Figura 4. 4: PLP tipo 2 con varios sub-cortes por T2 Frame [18]

#### 4.4 Análisis del diagrama de Bloques del estándar DVB-T2

La simulación del estándar DVB-T2 posee una estructura constituida por tres bloques en general como se puede apreciar en la figura 4.5, el primer bloque está formado por el entrelazado, codificación y modulación del sistema, en el segundo bloque se encuentra la construcción de la trama y en el tercer bloque se refiere al generador de la señal OFDM, todos ellos funcionan en conjunto para realizar la transmisión de datos con las características propias del estándar, las mismas que se van a indicar a continuación.



**Figura 4. 5:** Diagrama de bloques del transmisor del estándar DVB-T2 (Investigadora basada en el Artículo de la ETSI Digital Video Broadcasting)

Para la entrada del sistema se usa bits aleatorios derivados de una antena de transmisión, la misma que tendrá una correlación cruzada con factores de 0,5 a 1. Esta correlación cruzada depende del tipo de antena, anchura del haz y de la dirección de la señal de llegada.

#### 4.5 Entrelazado de Bits, Modulación y Codificación

A continuación se detallara las características técnicas en cuanto al entrelazado de bits, modulación y codificación del estándar DVB-T2 de Television Digital Terrestre para la presente simulación.

##### 4.5.1 Codificación de Canal

La codificación de canal se refiere a un conjunto de transformaciones que se aplican a la señal transmitida con el fin de corregir y/o detectar errores, el objetivo principal es reducir la probabilidad de error o bien la relación señal a ruido para garantizar una cierta tasa de error. Además la codificación de canal consiste en transformar las secuencias binarias en secuencias mejoradas que incluyan redundancia estructurada: los bits redundantes pueden ser usados para detectar y/o corregir errores.



En el estándar DVB-T2 la codificación de canal es uno de los aspectos más importantes, ya que este estándar tiene el desafío de aumentar la capacidad de sus emisiones conservando u optimizando la calidad de las mismas y sin aumentar la potencia. El esquema de codificación de DVB-T2 está basado en el esquema del estándar DVB-S2, proponiendo no inventar soluciones nuevas para problemas que ya están resueltos de manera satisfactoria en otros estándares del consorcio DVB. [9]

Es por ello que el estándar DVB-T2 utiliza una codificación muy potente, debido a que se basa en la codificación FEC; este subsistema se fundamenta en la codificación externa (BCH), Low Density Parity Check (LDPC) y el entrelazado de bits. [12] Cada flujo de entrada es tratado por el subsistema de codificación FEC para generar un flujo de salida. Los bits de control de paridad del código sistemático externo BCH se incluyen después del flujo de entrada y los bits de verificación de paridad del codificador interior LDPC se incluyen después de haber sido codificado por el código BCH. Al recibir la información se realiza el proceso inverso, es decir, primero se incluyen los bits de verificación de paridad del decodificador interior LDPC para luego estos ser decodificados por el código BCH, logrando de esta manera obtener el flujo de salida.

En la Figura 4.6 se observa este proceso de codificación FEC, en donde se determina que un código de palabra está identificado mediante un par ordenado  $(N, K)$ , donde  $N$  es la longitud de la palabra código y  $K$  es la longitud de los bits de información.

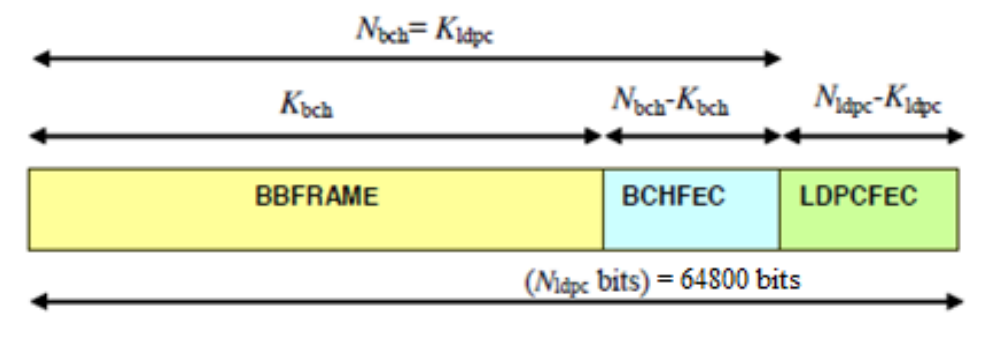


Figura 4. 6: Codificación FEC [12]

A más de ello el estándar DVB-T2 tiene parámetros definidos por la ETSI TS 102 005: “Digital Video Broadcasting (DVB)”, en el que se encuentra dos longitudes de palabras

código más usadas, una llamada normal (normal FEC frame) de 64800 bits y la otra llamada corta (short FEC frame) de 16200 bits. La Tabla 4.1 muestra los parámetros de codificación para la norma FECFRAME de 64800 y FECFRAME 16200.

**Tabla 4. 1:** Parámetros de codificación (por sus siglas en FECFRAME N<sub>ldpc</sub> = 16 200 y 64800) [12]

Ratio del código LDPC	Sin Código BCH <i>K<sub>bch</sub></i>	Código BCH bloque LDPC sin código Bloque <i>K<sub>ldpc</sub></i>	Corrección de error DCH	N <sub>bch</sub> - <i>K<sub>ldpc</sub></i>	Tasa efectiva LDPC <i>K<sub>ldpc</sub>/16200</i>	Código LDPC Bloque N <sub>ldpc</sub>
1/4	3072	3240	12	168	1/5	16200
1/2	32208	32400	12	192	4/9	64800
3/5	38688	38880	12	192	3/5	64800
2/3	43040	43200	10	160	2/3	64800
3/4	48408	48600	12	192	11/15	64800
4/5	51648	51840	12	192	7/9	64800
5/6	53840	54000	10	160	37/45	64800

La eficiencia de la trama en banda base  $\eta_{FECFRAME}$  está dada por la siguiente Ecuación 3:

$$\eta_{FECFRAME} = \frac{K_{bch} \text{ bits} - 80 \text{ bits}}{n_{ldcp} \text{ bits}} \quad \text{Ec. 3}$$

$K_{bch}$  está determinado por los valores especificados en la Tabla 4.1, y  $n_{ldpc}$  tiene sólo dos valores posibles: 64800 bits para FECFRAME normal, o 16200 bits si se elige FECFRAME corta.

Para el cálculo de la eficiencia de la FECFRAME se establecen los datos con la siguiente información:

- Tasa de codificación FEC y modulación: 8PSK 2/3.
- Tipo de trama FECFRAME: trama normal.

Consultando la Tabla 4.1, se obtiene la siguiente información:

- $K_{bch} = 43040$  bits.
- $n_{ldpc} = 64800$  bits

$$\eta_{FECFRAME} = \frac{K_{bch} \text{ bits} - 80 \text{ bits}}{n_{ldcp} \text{ bits}} = \frac{43040 \text{ bits} - 80 \text{ bits}}{64800 \text{ bits}} = 0,66296953$$

Esta es la eficiencia de la trama en banda base y el mecanismo FEC. En otras palabras: cada bit de la trama a este nivel representa 0,66 de los datos de entrada, o toma 1,51 bits para codificar 1 bit de los datos de entrada.

### **Códigos BCH (Bose Chaudhuri Hocquengham)**

Los códigos cíclicos se los puede representar mediante polinomios binarios que permiten realizar la codificación de manera eficiente. A más de ello a los códigos binarios se les conoce como un subconjunto de los códigos bloque lineal sistemático que presentan la particularidad de que todo desplazamiento cíclico de cualquier palabra código también es una palabra código. Este teorema lleva el nombre de tres autores: Bose, Chaudhuri y Hocquenghem (BCH), el cual también da el nombre a la familia de código bloque cíclico, sin embargo este teorema estipula en los campos de Galois los que se encuentran basados en polinomios, donde su idea principal es considerar las permutaciones de las raíces de un polinomio que tienen la característica de ser modificadas y aun así seguir satisfaciendo cualquier ecuación algebraica. [23]

La estructura de los códigos BCH es la siguiente:

$$n = 2^m - 1 \quad \text{--> Longitud de la palabra-código} \quad \text{Ec. 4}$$

$$n - k \leq m \cdot t \quad \text{--> Número de bits de paridad} \quad \text{Ec. 5}$$

$$m \quad \text{--> Orden de la extensión del campo de Galois } GF(2^m)$$

$$k \quad \text{--> Longitud del mensaje}$$

$$t \quad \text{--> Capacidad de corrección}$$

La configuración de la estructura del codificador BCH se realiza mediante los parámetros  $m$  y  $t$  del panel de control. Es decir los resultados de las características básicas del codificador de la forma: 'Codificador BCH (n, k, t)'. Por ejemplo, para  $m = 3$  y  $t = 1$ , el resultado será:

$$n = 2^3 - 1 = 2^3 - 1 = 7$$

$$n - k \leq m \cdot t$$

$$-k = m \cdot t - n$$

$$k = -(3 - 7) = 4$$

**Codificador BCH (7, 4, 1)**

## Códigos LDPC (Low Density Parity Check)

Los códigos LDPC son códigos de bloque con matrices de control de paridad que contienen sólo un pequeño número de entradas distintas de cero, también se puede decir que es la matriz de chequeo de paridad (H)

La salida del codificador BCH ( $N_{bch}$ ) pone como entrada del codificador interior la FEC, las cuales serán procesadas por el codificador LDPC para ser protegidos del error de paridad en bits. La Tabla 4.4 indica los números de bits de paridad en bits  $N_{bch}$  sin código, bloque  $K_{ldpc}$ , código LDPC, bloque  $K_{ldpc}$ , los que permiten obtener el ratio del código LDPC para el estándar DVB-T2.

**Tabla 4. 2:** Parámetros de codificación para cálculo del ratio LDPC del estándar DVB-T2 [13]

Ratio LDPC	Código BCH bloque $N_{bch}$ LDPC sin código Bloque $K_{ldpc}$	Tasa efectiva LDPC $K_{ldpc}/16200$	Código LDPC Bloque $K_{ldpc}$
1/4	3240	1/5	16200
1/2	32400	4/9	64800
3/5	38880	3/5	64800
2/3	43200	2/3	64800
3/4	48600	11/15	64800
4/5	51840	7/9	64800
5/6	54000	37/45	64800

El codificador LDPC para el estándar DVB-T2 es compatible para 6 velocidades de codificación, los cuales son utilizados en el prototipo de simulación y su código se puede observar en el ANEXO 2. Estas tasas de codificación se dan mediante la relación entre los bits de información (bits NBCH) y códigos de bloque de bits LDPC que es el FECFRAME. Por ejemplo para la tasa de 1/2 en un marco normal se muestra en la Ecuación 6.

$$\frac{N_{bch}}{K_{ldpc}} = \frac{32400}{64800} = \frac{1}{2} \quad \text{Ec. 6}$$

Cuanto menor sea esta relación existe más protección contra el error de los datos, da ha una transmisión de datos más robusto, y reduce el rendimiento del sistema. En el lado

del receptor, el decodificador LDPC comprueba la secuencia recibida hasta que las comprobaciones de paridad sean satisfechas hasta en 50 iteraciones. Esta corrección de errores utiliza las matrices de control de paridad dispersas con un algoritmo de toma de decisiones difíciles. [24]

#### 4.5.2 Entrelazado de bits

El entrelazado de bit es el proceso en el cual los bits no son transmitidos en el orden en que fueron generados, sino que son colocados en un buffer y transmitidos utilizando un patrón de permutación conocido tanto por el transmisor como por el receptor. Mediante esta técnica, los errores salen aislados en el receptor en lugar de aparecer en forma de ráfagas, logrando de esta manera emplear diferentes códigos correctores de errores para disminuir el BER.

El principio del entrelazado es sumamente simple, ya que basta con transmitir los bits sobre el canal radio en un orden distinto al que van a ser interpretados en el decodificador.

Para ello, un posible entrelazado consiste en incorporar a la salida del codificador de canal una matriz, de N filas y M columnas, que se va rellendo por filas. El primer bloque de FEC está escrito por columnas en los primeros 5 columnas del intercalador tiempo, el segundo bloque de FEC está escrito por columnas en los próximos 5 columnas y así sucesivamente. Las celdas se leen por filas. [23]

El entrelazado de los bits viene determinado por una fórmula en la que los bits que salen del codificador LDPC se denominan  $\Lambda = (\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_{64800})$  y los que salen del entrelazado de paridad se denominan por  $U = (u_0, u_0, \dots, u_{64800})$ . Al ser LDPC un código sistemático, la palabra de información corresponde a los primeros  $K_{ldpc}$  bits mientras que los restantes hasta  $N_{ldpc} = 64800$  son los bits de paridad, los mismos se mezclen en este primer entrelazado. La fórmula se presenta en las Ecuaciones 7 y 8.

$$u_i = \lambda_i \quad \text{para } 0 \leq i < K_{ldpc} \quad \text{Ec. 7}$$

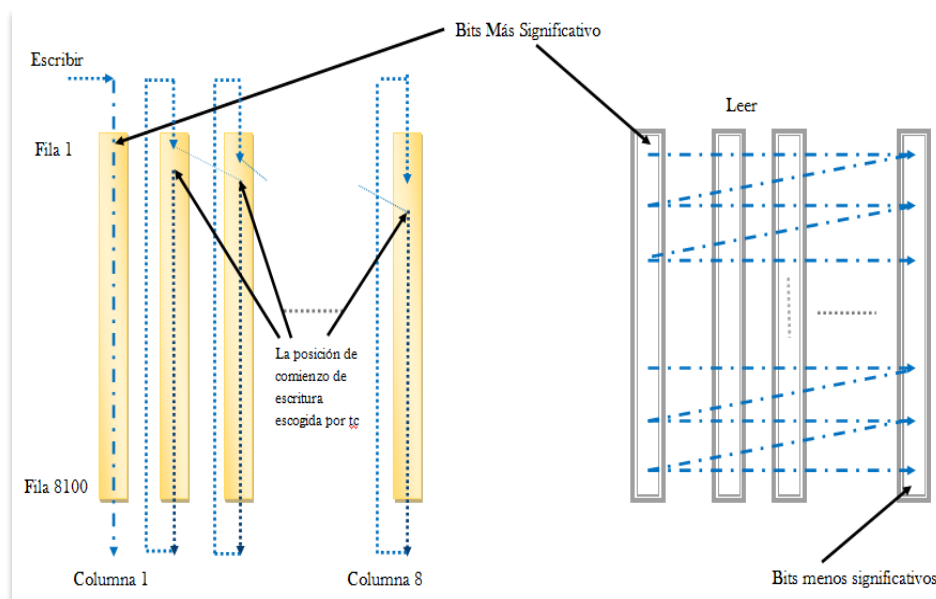
$$u_{K_{ldpc}+360 \cdot t+s} = \lambda_{K_{ldpc} + Q_{ldpc} \cdot s+t} \quad \text{para } 0 \leq s < 360, 0 \leq t < Q_{ldpc} \quad \text{Ec. 8}$$

En la Ecuación 7 se puede ver como los bits de información no se mezclan mientras que en la Ecuación 8 se observa como se mezclan los bits de paridad donde  $Q_{ldpc}$  se define en la Tabla 3.3, los cuales vienen determinados en el Artículo de la ETSI TS 102 005 de DVB.

**Tabla 4. 3:** Valores del Parámetro  $Q_{ldpc}$  [13]

Ratio de LDPC	$Q_{ldpc}$
1/2	90
3/5	72
2/3	60
3/4	45
4/5	36
5/6	30

En la Figura 4.7 se puede observar un ejemplo de entrelazado de bits de 16-QAM, en el cual se logra, como primer punto que los bits de paridad posean una misma estructura que los bits de información, obteniendo una ganancia de aleatoriedad. Como segundo punto, mediante este entrelazado se logra que no ingresen en el mismo punto de la constelación diversos bits que pertenezcan al mismo punto de chequeo en la decodificación. Ya que esto tiene mucho que ver con la manera que se hace la decodificación del código LDPC.



**Figura 4. 7:** Entrelazado de bits de 16-QAM [25]

### 4.5.3 Mapeo de Bits a Constelación

Para cada conjunto de  $N_{ldpc}$  de bits de una operación de codificación LDPC, se analiza en un bloque FEC codificada y modulada, en la que primero se realiza la demultiplexación de los bits de entrada en palabras de celdas paralelas y luego se procede a la asignación de estas palabras de celdas en los valores de la constelación. El número de celdas de datos de salida y el número efectivo de bits por celda  $\eta_{MOD}$ , se ven definidas en el ETSI TS 102 005, el cual se aprecia en la Tabla 4.4.

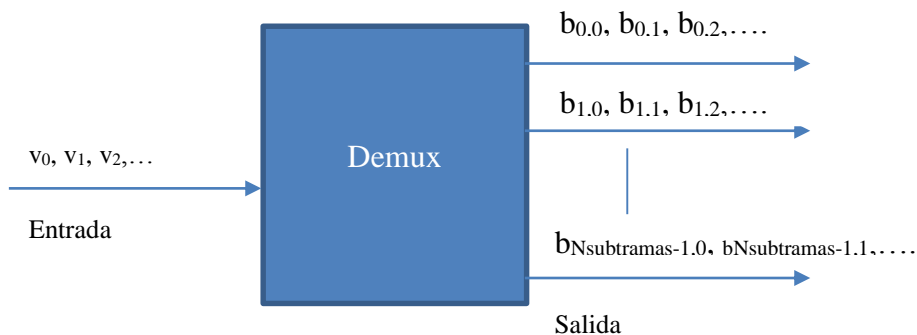
**Tabla 4. 4:** Parámetros para el mapeo de bits en constelaciones [13]

Longitud de bloque LDPC ( $N_{ldpc}$ )	Modo de Modulación	$\eta_{MOD}$	Número de salidas de los datos de celda
64800	256-QAM	8	8100
	64-QAM	6	10800
	16-QAM	4	16200
	QPSK	2	32400
16200	256-QAM	8	2025
	64-QAM	6	2700
	16-QAM	4	4050
	QPSK	2	8100

El flujo de bits del entrelazador de bits es demultiplexado en subflujos  $N_{subtramas}$ , como se muestra en la Tabla 4.5, determinada en el artículo de la ETSI TS 102 005, en todas las modulaciones el número de subtramas es el doble del número de bits/ símbolo de la modulación excepto en QPSK, es por ello que las subtramas de  $N_{bits/símbolo}$  conformarán una celda y las siguientes otra. Mientras que en la modulación QPSK solo conforma una celda. En la Figura 4.8 se aprecia el demultiplexor de bits de subtramas utilizado en el estándar.

**Tabla 4. 5:** Numero de subtramas del demultiplexor [12]

Modulación	$N_{ldpc}$	Numero de subtramas $N_{subtramas}$
QPSK	64800, 16200	2
16-QAM	64800, 16200	8
64-QAM	64800, 16200	12
256-QAM	64800	16
	16200	8



**Figura 4. 8:** Demultiplexor de bits en subtramas [13]

### Modulación

El proceso llamado modulación consiste en transformar el mensaje de información en una forma de onda que permita su transmisión eficiente en un sistema de comunicaciones. [23]. Es decir este proceso se encarga de transformar las celdas que nos llegan del demultiplexor a diversos puntos de constelación determinada por la modulación escogida, donde a la constelación se la puede definir como una herramienta, usada con frecuencia para representar mediante ejes una señal con modulación digital. Si el eje es I (In-Phase), indica que no hay alteración en la fase de la portadora; mientras que si el eje Q indica que existe un desfase de  $90^\circ$  con relación a la portadora. Los métodos de modulación PSK más usadas son: BPSK y QPSK, cuyas constelaciones se muestran en la Figura 4.9



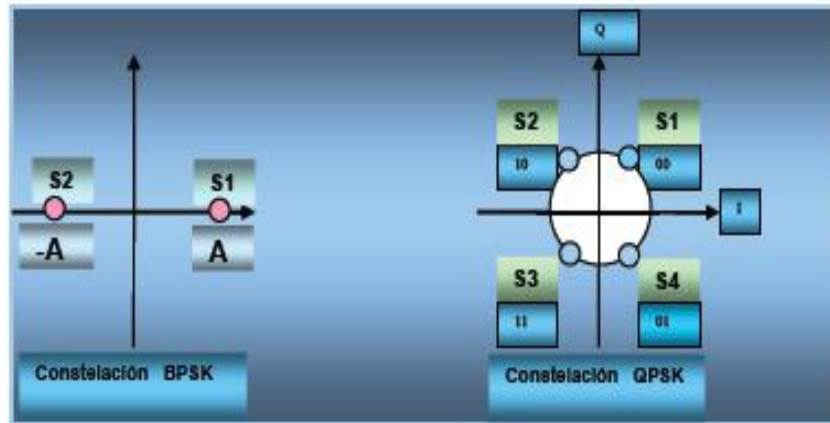


Figura 4. 9: Constelaciones PSK [26]

La representación matemática de una señal modulada BPSK es la Ecuación 9:

$$s_n(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t + \pi(1 - n)); n \in \{0, 1\} \quad \text{Ec. 9}$$

La expresión mencionada anteriormente proporciona dos fases:  $0^\circ$  y  $180^\circ$  ( $\pi$  radianes).

Es decir los datos binarios se transmiten a menudo con las siguientes señales:

$$s_0(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t + \pi) = -\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t) \quad \text{Ec. 10}$$

$$s_1(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t) \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

- $f_c$ : frecuencia de la onda portadora.
- $s_0(t)$ : señal de salida para el "0" lógico.
- $s_1(t)$ : señal de salida para el "1" lógico.

De igual manera el estándar DVB-T2 usa niveles de modulación de amplitud en cuadratura (QAM), que es una forma de modulación digital donde la información está contenida tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida, las modulaciones usadas por el estándar son: 16-QAM, 64-QAM y 256-QAM, que utilizan 16, 64 y 256 números diferentes de cambios de fase/amplitud respectivamente. No obstante, estas técnicas de modulación son más susceptibles al ruido, ya que un mayor

número de combinaciones representa combinaciones más cercanas una de otra es decir el ruido puede cambiar la señal con mayor facilidad. Por esta razón existe una probabilidad de que el receptor se equivoque al identificar los unos y los ceros, a la que se la conoce como la probabilidad de error que es minimizada mediante el uso de los códigos Gray.

Para la señal modulada 16 QAM los datos de entrada binaria se dividen en cuatro canales: el I, I', Q y Q'. La tasa de bits de cada canal es igual a un cuarto de la tasa de bits de entrada ( $f_b/4$ ). Los bits I y Q determinan la polaridad a la salida de los convertidores de niveles de 2 a 4 (un 1 lógico = positivo y un 0 lógico = negativo). Las señales PAM modulan a las portadoras en fase y en cuadratura, de tal manera se tiene cuatro posibles salidas para cada modulador de producto. Para el modulador de producto I son  $+0.821 \sin \omega t$ ,  $-0.821 \sin \omega t$ ,  $+0.22 \sin \omega t$ ,  $-0.22 \sin \omega t$  y para el modulador de producto Q son  $+0.821 \cos \omega t$ ,  $-0.821 \cos \omega t$ ,  $+0.22 \cos \omega t$ ,  $-0.22 \cos \omega t$ . Por consecuencia, el sumador lineal combina las señales obteniendo 16 combinaciones de salida necesarias para la modulación 16-QAM. En la Figura 4.10 se aprecia el diagrama de constelación de la modulación 16-QAM y en la Figura 4.11 se aprecia la modulación 16-QAM y 64-QAM empleadas por el estándar DVB-T2.

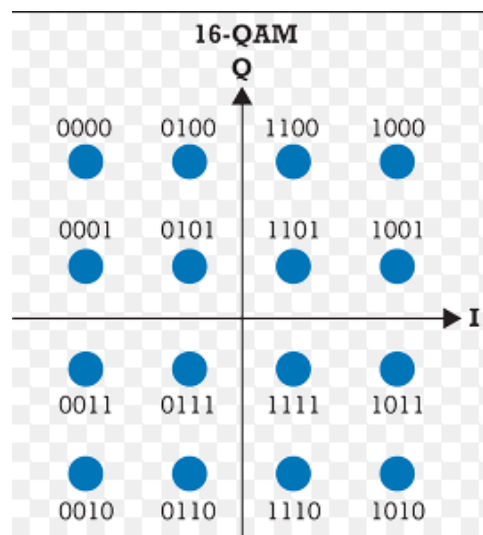


Figura 4. 10: Constelación 16-QAM

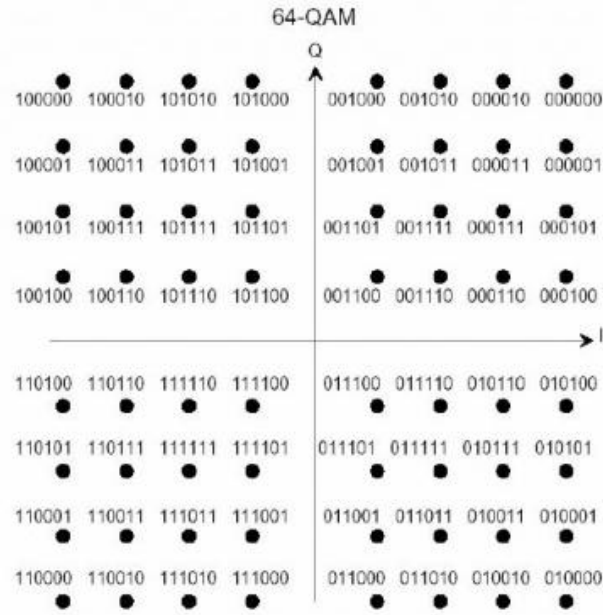


Figura 4. 11: Constelación 64-QAM [26]

En el prototipo de simulación del estándar DVB-T2 para TDT permite escoger modulaciones de 16 QAM, 64 QAM y 256 QAM toleradas por el estándar. En el Anexo 2 se aprecia las líneas de código para la modulación QAM y demodulación QAM en MATLAB.

#### 4.5.4 Rotación de Constelación y Retardo Q-cíclico

Esta técnica se ha estudiado como una herramienta para mejorar el orden de diversidad de esquema BICM (Modulación Codificada de Bits Intercalados) sobre canales de desvanecimiento, en un estudio acerca de esta aplicación, se verificó que es usada para soluciones avanzadas del código de corrección (FEC).

Se utiliza la rotación de la constelación con valores de las celdas normalizadas de cada bloque de FEC, por lo que se considera  $F = (f_0, f_1, \dots, f_{N_{cells}-1})$  a los símbolos de la constelación y  $G = (g_0, g_1, \dots, g_{N_{cells}-1})$  a la señal rotada y retardada, la relación entre estas dos señales viene dada por las Ecuaciones 12 y 13.

$$g_0 = Re(R_{RQD} \cdot f_0) + jIm(R_{RQD} \cdot jN_{cells-1}) \text{ Ec. 12}$$

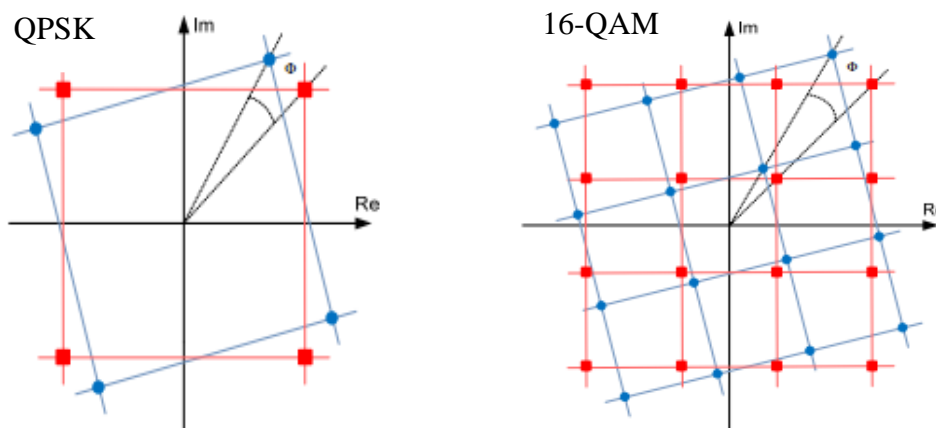
$$g_q = Re(R_{RQD} \cdot f_q) + jIm(R_{RQD} \cdot f_{q-}), q = 1, 2, \dots, N_{cells} - 1 \text{ Ec. 13}$$

Donde el fasor de rotación  $R_{RQD} = e^{j\frac{2\pi\Phi}{380}}$  y el ángulo de rotación  $\Phi$  depende de la modulación del estándar, se puede apreciar en la Tabla 4.6. Donde  $\text{atan}(1/16)$  denota el arco tangente de 1/16 expresado en grados. [13]

**Tabla 4. 6:** Ángulo de rotación para cada tipo de modulación [13]

Modulación	QPSK	16QAM	64QAM	256QAM
Grados	29,0	16,8	8,6	$\text{atan}(1/16)$

La aparición de una constelación girada se representa en la Figura 4.12, donde también se representa la constelación convencional correspondiente. Es así como los puntos cuadrados rojos representan la constelación convencional; los círculos azules muestran la constelación después de girar.



**Figura 4. 12:** Rotación y constelación clásica [30]

Además, debido a este proceso de entrelazado, los componentes en fase y cuadratura de un símbolo transmitido se ven afectadas por desvanecimientos independientes. El resultado de esta técnica es aumentar la robustez del receptor en escenarios de propagación con desvanecimientos profundos y / o eventos de borrado.

#### 4.6 Construcción de la Trama de la señal OFDM

El constructor de trama comprende una supertrama, en la que se sitúa como la mayor estructura de la capa superior y está formada por varias tramas T2 y éstas se dividen a

su vez en símbolos OFDM. Una supertrama contiene al menos dos tramas T2, las cuales conforman posteriormente los símbolos OFDM y también puede llevar a cuadros de extensión futuros (FEF). En la Figura 4.13 se aprecia la estructura de trama del estándar DVB-T2

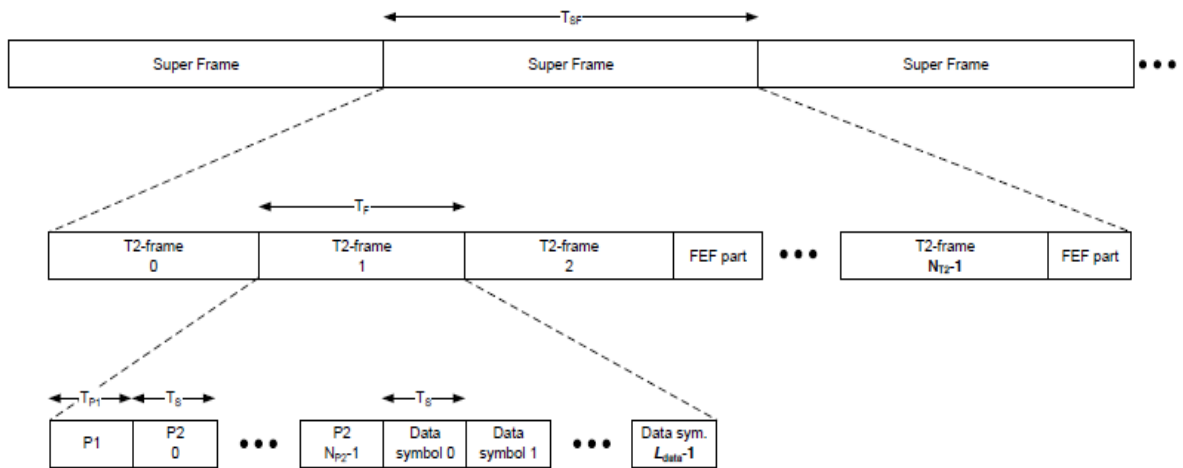


Figura 4. 13: Constructor de la trama DVB-T2 [12]

#### 4.7 Generador de la Señal OFDM

La señal OFDM (multiplexado ortogonal por división de frecuencia) es esencialmente una aplicación discreta de la modulación multiportadora, que divide el flujo de bits transmitido en muchas diferentes subflujos, los que son enviados en diferentes subcanales también denominados subportadores. Por lo general, los subcanales son ortogonales y el número de subcanales son elegidos de manera que cada subcanal tiene un ancho de banda mucho menor que el ancho de banda de coherencia del canal. Es por ello que la interferencia entre símbolos (ISI) de cada subcanal es muy pequeña, por lo que gracias a la señal OFDM se consigue una mayor eficiencia espectral permitiendo que los diferentes subcanales se solapen y de esta manera sean ampliamente utilizados en muchos sistema inalámbricos.

$$T_u = \frac{N_{subportadoras}}{B} \quad \text{Ec. 14}$$

La Ecuación 14 permite representar la duración útil de símbolo OFDM, donde  $N_{subportadoras}$  es el número de subportadores y  $B$  es el ancho de banda del estándar. En

la Figura 4.14 se aprecia la señal OFDM en la cual el espaciamento en frecuencia de subportadora es de  $1/T_u$ , la duración total del símbolo se la conoce como  $t_n$  y el intervalo de guarda como  $t_g$ .

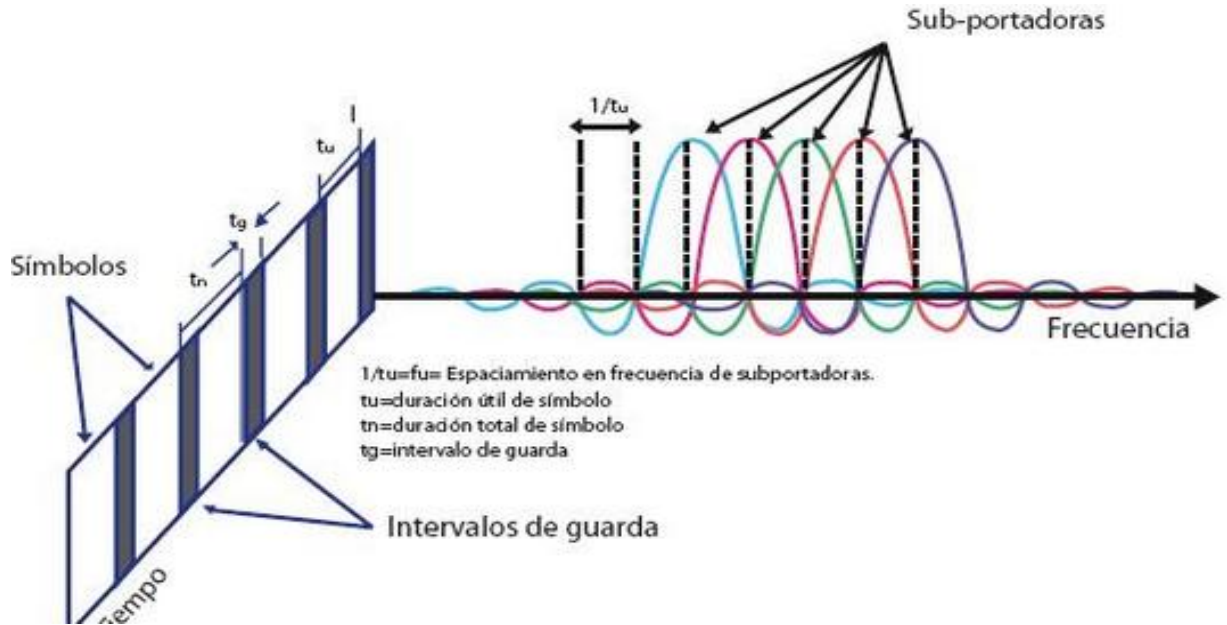


Figura 4. 14: Señal OFDM [4]

La señal OFDM, es tolerante a canalizar perturbaciones y ruido de impulso. Esta modulación tiene notables propiedades tales como ancho de banda eficiente, es altamente flexible en términos de su capacidad de adaptación a los canales y robustez a trayectos múltiples. Se puede decir que la modulación OFDM es utilizado en muchas aplicaciones, incluyendo la transmisión de alta velocidad de datos a través de líneas de par trenzado y fibra, difusión terrestre de vídeo digital (DVB-T). [25]

#### 4.7.1 Inserción de pilotos

Algunas celdas que se encuentran dentro de los símbolos OFDM son moduladas con información de referencia cuyo valor transmitido es conocido por el receptor, a estas celdas se las conoce como pilotos. Se puede decir que los pilotos no son más que símbolos conocidos que se encuentran incrustados en determinadas posiciones de la señal OFDM, las mismas que cuentan con un nivel de potencia mayor que el del resto de la señal, una vez en el receptor nos permiten conocer una serie de características de la transmisión. Es imprescindible tener una mejor relación señal a ruido en los pilotos,

por lo que se envía mayor potencia y de esta manera se minimiza el efecto del ruido, llegando a obtener una mejor estimación de la señal. En los símbolos de la señal OFDM del estándar DVB-T2 se puede encontrar dos tipos de pilotos, pilotos continuos y pilotos dispersos. Donde se puede decir que los pilotos continuos ayudan a corregir el problema del ruido de fase mientras que los pilotos dispersos se emplean principalmente para la estimación del canal.

El estándar DVB-T2 utiliza 8 patrones dispersos (SP) diferentes, llamados PP1 a PP8, para compensar la variación del canal en el tiempo y en el dominio de la frecuencia. La posición de los pilotos en una subportadora en el símbolo OFDM satisface la Ecuación 15. [24]

$$k \cdot \text{mod}(D_x \cdot D_y) = D_x \cdot (\ell \text{mod } D_y) \quad \text{Ec. 15}$$

Donde  $D_x$  define la separación de los pilotos que llevan los portadores en cada símbolo OFDM,  $D_y$  define el número de símbolos OFDM que forma una secuencia de SP,  $k \in [K_{\min}, K_{\max}]$  es el índice de subportadora en el símbolo OFDM, y  $\ell \in [1, S]$  es el índice del símbolo OFDM en la trama T2 que contiene  $S$  símbolos en total. Los valores disponibles de  $D_x$  y  $D_y$  vienen dados en la Tabla 4.7, los que están determinadas por el artículo de la ETSI TS 102 005. En el Anexo 2 de la propuesta de simulación del estándar DVB-T2 de TDT se puede apreciar las líneas de código para la posición de los pilotos dispersos.

**Tabla 4. 7:** Parámetros que definen los patrones de pilotos dispersos. [12]

Patrón Pilotos	Separación de portadoras pilotos rotadas ( $D_x$ )	Número de símbolos que forman pilotos dispersos ( $D_y$ )
PP1	3	4
PP2	6	2
PP3	6	4
PP4	12	2
PP5	12	4
PP6	24	2
PP7	24	4
PP8	6	16

Para reducir el ruido en la estimación de canal, los pilotos se elevan teniendo en cuenta que todos los símbolos tienen aproximadamente la misma potencia. La Tabla 4.10 muestra las amplitudes de cada patrón disperso y su potencia equivalente en dB, en la que se logra disminuir el efecto del ruido al aumentar la potencia de los pilotos respecto a la potencia de la señal, por esto se pone más potencia cuando tenemos un patrón con menos pilotos y menos potencia cuando tenemos un patrón con más pilotos, estos parámetros vienen determinados en el artículo de la ETSI TS 102 005. La modulación de los pilotos depende del índice de portadora y el número de símbolos. Las partes real e imaginaria se dan mediante la Ecuación 16.

$$\text{Re}\{c_{m,l,k}\} = 2A_{SP} \left( \frac{1}{2} - r_{l,k} \right) ; \quad \text{Im}\{c_{m,l,k}\} = 0 \quad \text{Ec. 16}$$

Donde ASP es la amplitud de pilotos dispersos,  $r_{l,k}$  es la secuencia de referencia generada por la secuencia Pseudo Random Binary (PRBS),  $m$  es el índice de la trama T2,  $k$  es la frecuencia índice de los portadores, y  $l$  es el índice del símbolo OFDM. En la Tabla 4.8 se observa las Amplitudes de Portadoras Piloto determinadas por el artículo de la ETSI TS 102 005.

**Tabla 4. 8:** Tabla de las Amplitudes de las Portadoras Piloto [12]

Patrón de Pilotos Dispersos	Amplitud Asp	Potencia equivalente Argumentada (dB)
<b>PP1, PP2</b>	4/3	2.5
<b>PP3, PP4</b>	7/4	4.9
<b>PP5, PP6, PP7, PP8</b>	7/3	7.4

#### 4.7.2 IFFT (Inverse Discrete Fourier Transform)

Después de la inserción de los pilotos, se realiza la señal OFDM la que comprende muchos portadores modulados por separado, de manera que cada símbolo puede ser considerado para ser dividida en celdas. En la Ecuación 17 se observa la señal del espectro OFDM para Tramas T2.



$$s(t) = \text{Re} \left\{ e^{j2\pi f_c t} \sum_{m=0}^{\infty} \left[ p_1 \left( -mT_F \right) \right] \frac{5}{\sqrt{27 \times K_{total}}} \sum_{l=0}^{L_F-1} \sum_{k=K_{min}}^{K_{max}} c_{m,l,k} \times \Psi_{m,l,k}(t) \right\} \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

$$\Psi_{m,l,k}(t) = \begin{cases} e^{j2\pi \frac{k'}{T_u} (t - \Delta - lT_S - mT_F)} & \text{para } mT_F + lT_S \leq t \leq mT_F + (l+1)T_S \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Ec. 18

Los parámetros de las Ecuaciones 17 y 18 se explican a continuación.

- $k$  es el número de subportadora.
- $l$  es el número de símbolo OFDM.
- $m$  es el número de trama T2.
- $KT_{total}$  es el número de subportadoras transmitidas y se puede ver en la Tabla 4.9.
- $LF$  número de símbolos OFDM que tiene cada trama.
- $TS$  es la duración del símbolo OFDM,  $TS = Tu + \Delta$
- $Tu$  es la duración del símbolo de periodo útil
- $\Delta$  es la duración del intervalo de guarda.
- $f_c$  es la frecuencia central de la señal RF.
- $k_0$  es el índice de la subportadora relativo a la frecuencia central,  $k_0 = k' - (K_{max} + K_{min})/2$ ;
- $c_{m;l;k}$  es el valor complejo de modulación para la portadora  $k$  del símbolo OFDM número  $l$  en la trama T2 número  $m$ .
- $TF$  es la duración de la trama completa (supertrama).  $TF = LF \cdot TS$

Los parámetros OFDM se resumen en la Tabla 4.9. En el que los valores de los distintos parámetros relacionados con el tiempo se dan en múltiplos del periodo elemental  $T$  y en microsegundos. El periodo elemental  $T$  se especifica para cada ancho de banda.

Para el presente proyecto de investigación usaremos una frecuencia de portadora de 91.429 MHz, debido a que es aproximadamente 10 veces el inverso del periodo fundamental de muestra de un canal de 8MHz para la difusión de Televisión, el cual es determinado mediante la Ecuación 19.

$$fc = \frac{1}{T} \quad \text{Ec. 19}$$

$$T = \frac{T_u}{\text{Duración de } T_u} \quad \text{Ec. 20}$$

Donde T es el periodo de banda base elemental y se puede calcular mediante la Ecuación 20, Tu es el símbolo de periodo útil. Estos parámetros se pueden observar en la Tabla 4.9 y son determinados por el Artículo de DVB. Al resolver la Ecuación 16 tomando los valores para la portadora 1K, se obtiene la frecuencia de portadora usada para la simulación.

$$fc = \frac{1}{\frac{112\mu s}{1024}} = 91.429 \text{ MHz}$$

**Tabla 4. 9:** Parámetros OFDM en función del tiempo [12]

Parámetros OFDM		Modo 1K	Modo 2K	Modo 4K	Modo 8K	Modo 16K	Modo 32K
Numero de portadora $K_{total}$	Modo de portadora normal	853	1705	3409	6817	13633	27265
	Modo de portadora extendida	n/a	n/a	n/a	6913	13921	27841
Duración Tu		1024T	2048T	4096T	8192T	16384T	32768T
Tu (Valores para canales de 8 MHz)		112	224	448	896	1792	3584
Espacio de portadora $1/T_u$ (Hz) <sup>2]</sup>		8929	4464	2232	1116	558	279
Espacio entre portadoras	Modo normal de portadoras	7,61 MHz	7,61 MHz	7,61 MHz	7,61 MHz	7,61 MHz	7,61 MHz
	Modo extendido de portadoras	n/a	n/a	n/a	7,71 MHz	7,77 MHz	7,77 MHz
<b>Periodo elemental de una función de banda ancha</b>							
Ancho de Banda		1,7 MHz	5 MHz	6 MHz	7 MHz	8 MHz	10 MHz <sup>4</sup>
Periodo Elemental T		71/131 $\mu s$	7/40 $\mu s$	7/48 $\mu s$	1/8 $\mu s$	7/64 $\mu s$	7/90 $\mu s$

### 4.7.3 Intervalo de Guarda

Para el envío de la señal es necesario introducir un intervalo de guarda, para evitar que estos interfieran unos con otros debido a los efectos de los canales multitrayecto, se definen 7 fracciones de intervalos de guarda de la forma  $\Delta = Tu$ . Se puede decir que mientras más corto sea el intervalo de guarda, se tiene menor alcance, mientras que su velocidad aumenta y viceversa. [27]

En la Tabla 4.10 se observan la duración absoluta del intervalo de guarda  $\Delta$ , expresado en múltiplos del periodo elemental  $T$  para cada combinación de tamaño de FFT. A más de ello se logra observar ciertas combinaciones que no deben ser usadas y están marcadas con NA, determinada por el artículo ETSI TS 102 005

**Tabla 4. 10:** Duración del Intervalo de Guarda en Términos del Periodo Elemental. [12]

Tamaño FFT	Fracción de Intervalo de guarda ( $\Delta/T_u$ )						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32K	256T	1024T	2048T	2432T	4096T	4864T	NA
16K	128 T	512T	1024T	1216T	2048T	2432T	4096T
8K	64 T	256T	512T	608T	1024T	1216T	2048T
4K	NA	128T	256T	NA	512T	NA	1024T
2K	NA	64T	128T	NA	256T	NA	512T
2K	NA	NA	64T	NA	128T	NA	256T

La elección del intervalo de guarda apropiado no siempre es sencillo, en cuanto menor sea el intervalo electo mayor será la capacidad de nuestro sistema. Por esta razón es necesario tratar el intervalo como un límite de la longitud del canal, el mismo que puede ser tolerado por el sistema. Si es conocida la longitud del canal para un determinado escenario, es fácil distinguir el intervalo de guarda a utilizar, ya que el intervalo de guarda deberá coincidir con la longitud del canal o superar la misma. De esta forma evitará las interferencias entre símbolos.

## 4.8 Canal

El canal es uno de los elementos fundamentales de la simulación, depende del medio ambiente para la propagación de radio. Debido a que si el transmisor envía la señal por

una antena y se propaga de manera inalámbrica, esta señal puede tener diversos obstáculos que pueden atenuar, reflejar, difractar o dispersar la señal antes de ir al receptor. Obteniendo una señal con presencia de ruido, es por ello que la relación señal-ruido SNR permite verificar si existe un error durante la transmisión. Para la simulación se ha usado una razón de ruido 20dB ya que es usado para responder sistemas de señales de bajo nivel., además se puede trabajar con las conversiones de dBm y dBu.

Para analizar el rendimiento de la sincronización del sistema DVB-T2, el modelo de simulación tiene que ser evaluado en diferentes modelos de canal. A continuación se presenta una breve descripción de los modelos de canales para evaluar el desempeño del sistema DVB-T2.

#### **4.8.1 Canal Gaussiano**

El comportamiento de un canal típico de desvanecimiento inalámbrico es considerado más complejo de manejar que un canal gaussiano, ya que modela el ruido generado en el extremo frontal del receptor en el caso de canal de transmisión ideal. De tal manera se supone que el ruido tiene una función de distribución de probabilidad gaussiano y una densidad espectral de potencia constante en el ancho de banda de canal. Por lo tanto, se refiere como Ruido Gaussiano Blanco Aditivo (AWGN). El mismo que proporciona un modelo considerablemente útil para ruta LOS, la cual es directa entre el transmisor y receptor de canales individuales.

#### **4.8.2 Canal Estático**

Los canales estáticos en la evaluación del rendimiento del receptor DVB-T2 son principalmente canal Ricean y canal Rayleigh.

##### **4.8.2.1 Canal Rayleigh**

Una distribución Rayleigh se produce cuando la línea de visión directa (LOS) entre emisor y receptor se ve interrumpida por obstáculos o su nivel es inferior al nivel del ruido, como se aprecia en la Figura 4.15. El factor K de Rayleigh es = 0, por lo que es usado para la mayoría de conexiones móviles.

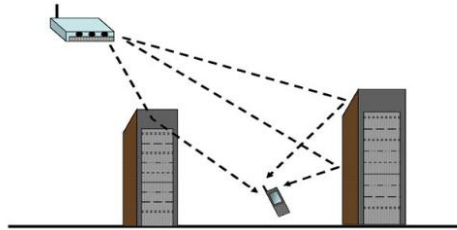
La distribución Rayleigh viene dada por la Ecuación 21.

$$p(z) = \begin{cases} \frac{z}{\sigma^2} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} & 0 \leq z \leq \infty \\ 0 & z < 0 \end{cases} \quad \text{Ec. 21}$$

Donde:

$z$  : representa el envolvente de la señal

$\sigma^2$ : la varianza.



**Figura 4. 15:** Ejemplo de un patrón de recepción de un canal Rayleigh. [26]

#### 4.8.2.2 Canal Rician

Una distribución Rice viene caracterizada por la existencia de visión directa (LOS) más varias ondas reflejadas entre emisor y transmisor, como se aprecia en la Figura 4.16. Su nivel de potencia está por encima del nivel de las señales multitrayecto recibidas. Este camino dominante es responsable de reducir la dispersión de retardo y para disminuir la profundidad de desvanecimiento.

La distribución Rician viene dada por la Ecuación 22:

$$p(z) = \frac{z}{\sigma^2} e^{-\frac{(z^2+z_s^2)}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{zz_s}{\sigma^2}\right) \quad \text{Ec. 22}$$

Donde:

$\sigma$  : desviación típica

$z_s$  : amplitud del rayo directo.

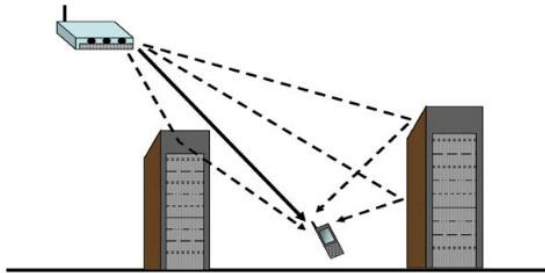
$z$ : amplitud de la envolvente de la señal recibida.

$I_0$  : es la función de Bessel modificada de primera clase y de orden cero.

La distribución Rician usualmente está descrita en términos de un parámetro,  $K$ , el cual define la tasa entre la potencia de la señal determinística y la varianza del multitrayecto, esta relación está dada por la siguiente Ecuación 23.

$$K = \frac{\text{potencia LOS}}{\text{Potencia difractada}} = \frac{z_s}{2\sigma^2} \quad \text{Ec. 23}$$

Es importante notar que cuando  $K = 0$ , la respuesta resultante se asemeja a un canal Rayleigh y cuando  $K \gg 1$  se comporta como un canal sin desvanecimiento multitrayecto. [28]



**Figura 4. 16:** Ejemplo de un patrón de recepción para un canal Rician [28]

#### **4.9 Desarrollo de la Simulación de la Capa Física del estándar DVB-T2 utilizado en Televisión Digital Terrestre en el Software Matlab**

A continuación se indica el diseño del diagrama de flujo del programa elaborado (simulación de la capa física del estándar DVB-T2 utilizado en televisión digital), su interfaz gráfica y los resultados del mismo. Para realizar este programa se trabajó con un ordenador portátil con las siguientes características:

- Procesador: Intel(R) Core(TM) i7-5500U
- Memoria instalada (RAM): 8GB
- La Interfaz Gráfica se realizó en el Software MATLAB versión 14 (R20014a)

##### **4.9.1 Diagrama de Flujo del programa elaborado**

Pasos para ejecutar la simulación de la capa física del estándar DVB-T2 utilizado en televisión digital terrestre.

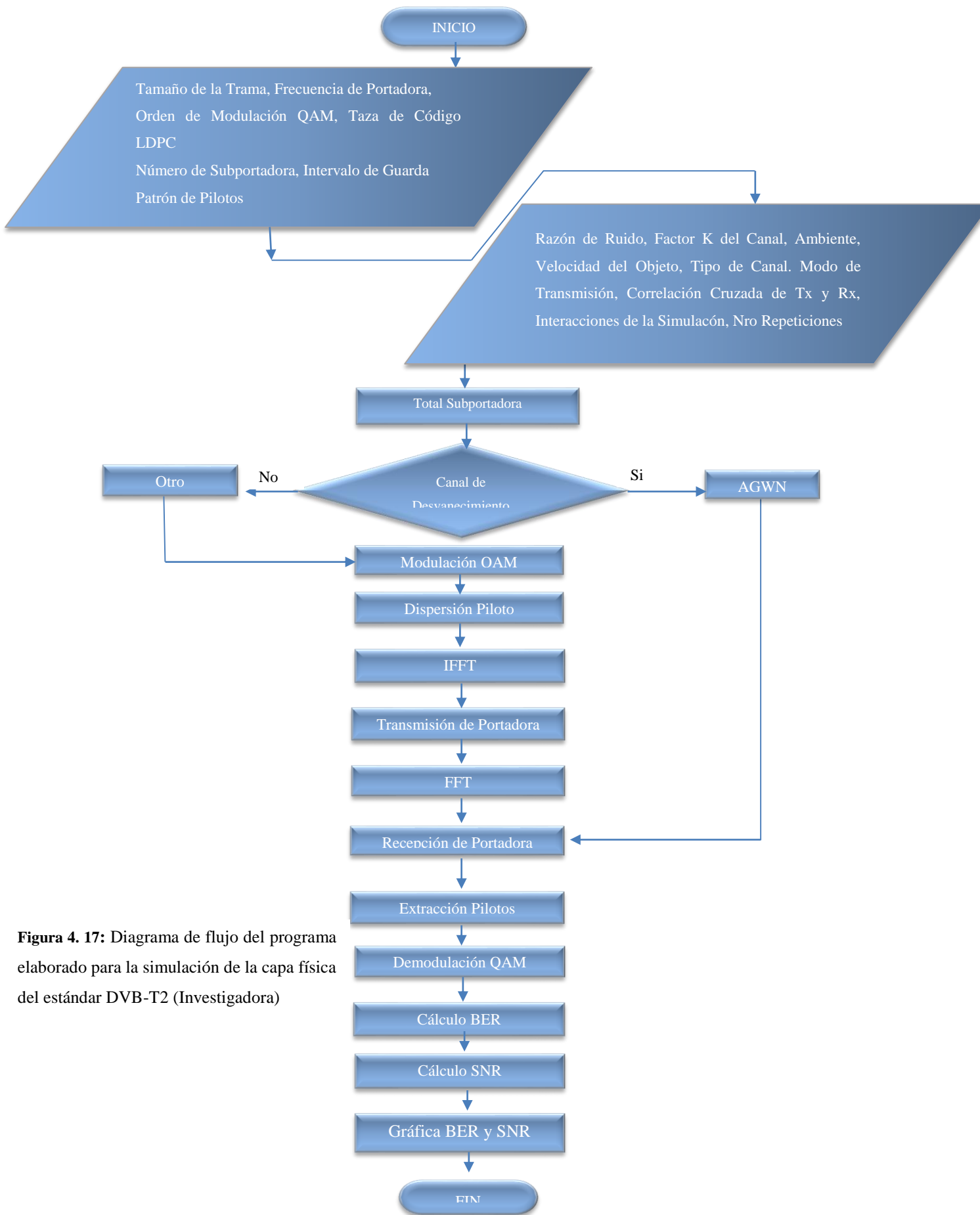
1. Abrir la INTERFAZ\_DE\_SIMULACION.m,
2. Correr la simulación en la que se abre la interfaz gráfica del programa.

3. Configuración y selección de parámetros (modulador, canal, antena y simulación) en la interfaz gráfica de la simulación.
4. Ejecutar el prototipo de simulación dando clic en el botón ejecutar.

El funcionamiento del prototipo de simulación del estándar DVB-T2, utilizado en TDT se inicia al ingresar todos los valores en la interfaz gráfica, estos sirven para realizar el cálculo del período útil OFDM, número máximo de subportadoras y la longitud IFFT / FFT. Con la información obtenida el modelo realiza la modulación QAM sobre la señal, de modo que esta pudiera ser enviada desde el transmisor al receptor. A continuación, en función del valor de patrón piloto dado por el usuario, se calcula las amplitudes piloto dispersas para el sistema, así como también se calcula la distorsión en la transmisión dependiendo de la zona en la que la señal se propaga.

Para el cálculo de la distorsión, se utiliza técnica de FFT sobre las señales para obtener la respuesta de frecuencia. Al enviar la señal por el transmisor esta debe ser modulada mediante la modulación QAM, es por ello que es necesario que se realice la demodulación en el lado receptor, logrando obtener la señal deseada. De esta forma se puede calcular el valor de la relación señal a ruido (SNR) y Bit Error Rate (BER). Al final de la simulación, simplemente adquirimos los gráficos de SNR y BER para la representación visual.

En la Figura 4.17 se puede apreciar el Diagrama de Flujo del programa elaborado en la simulación de la Capa Física del estándar DVB-T2 utilizado en TDT.



**Figura 4. 17:** Diagrama de flujo del programa elaborado para la simulación de la capa física del estándar DVB-T2 (Investigadora)



## 4.9.2 Interfaz Gráfica

La Interfaz Gráfica creada se muestra en la Figura 4.18 y está formada por cuatro secciones: modulador, canal, antena y simulación.

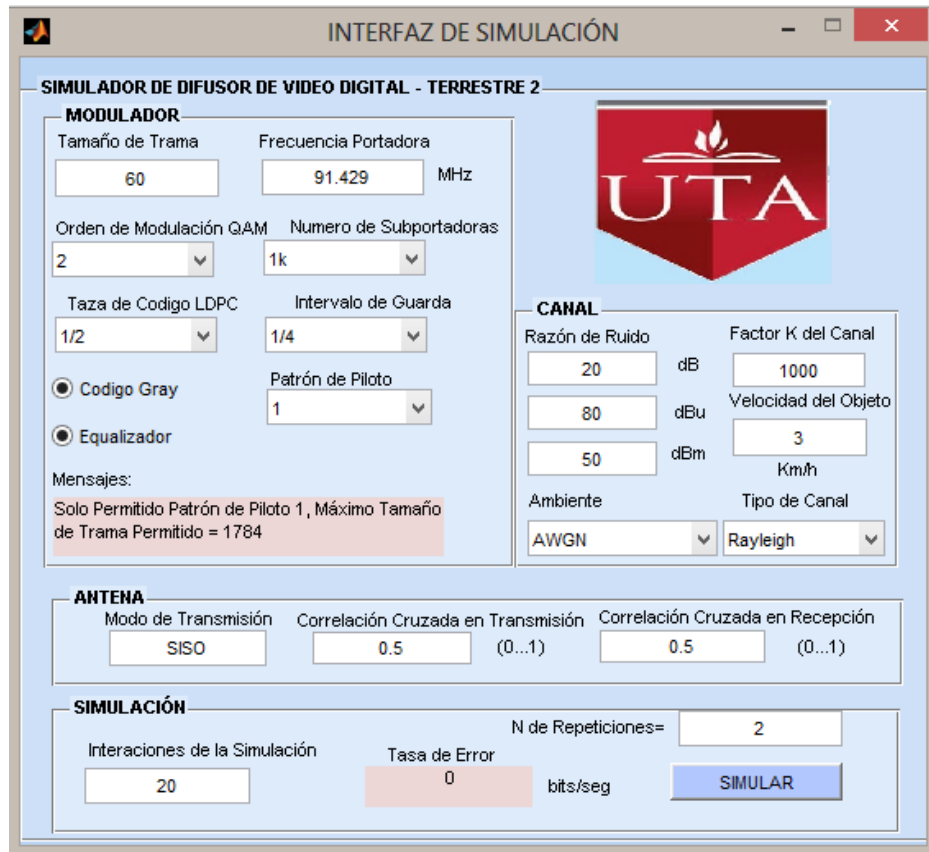


Figura 4. 18: Interfaz gráfica de la simulación (Investigadora)

## 4.9.3 Resultados de la Simulación

Para la simulación de la se ha elegido una velocidad de 10km/h, con  $N_0$  iteraciones = 20 y  $N = 2$ . En la Figura 4.19 a) la simulación estará sujeta a un canal de desvanecimiento Rayleight y un ambiente Urbano Normal, mientras que en la Figura 4.19 b) la simulación estará sujeta a un canal de desvanecimiento Ricean y un ambiente Área Rural. Para el ejemplo de simulación a) se usara los siguientes parámetros:

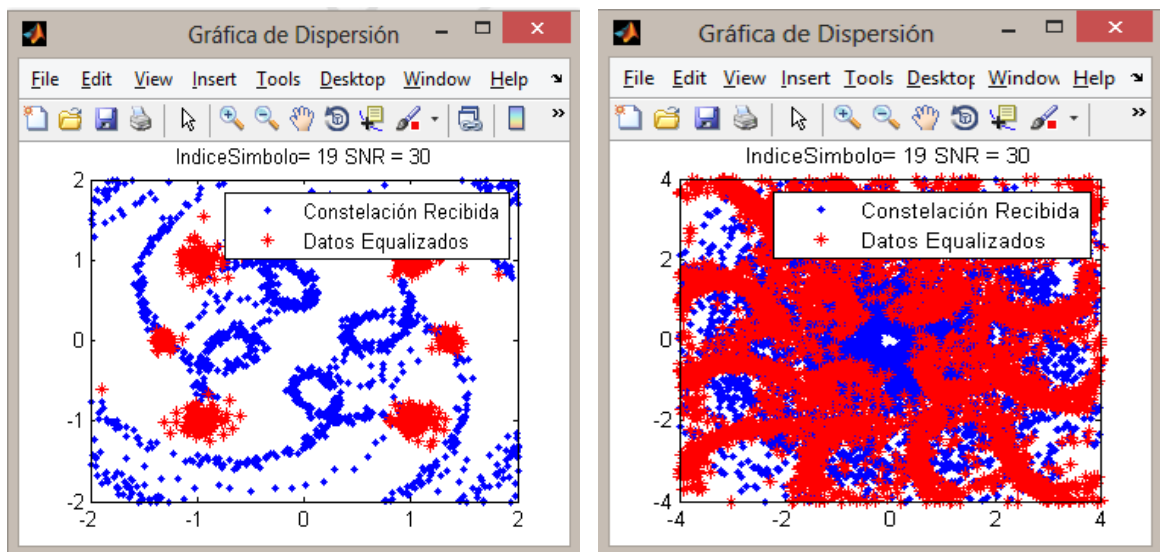
- La modulación escogida será 2 QAM,
- Modo de OFDM es 4k
- FEC es LDPC y BCH, con tasa de 3/4

- El patrón piloto especificado es 1 debido a que el máximo tamaño de la trama es 446.

Mientras que para la simulación b) se usaran los siguientes parámetros:

- La modulación escogida será 16 QAM
- Modo de OFDM es 8k
- FEC es LDPC y BCH, con tasa de 3/5
- El patrón piloto especificado es 8 debido a que el máximo tamaño de la trama es 223.

En la Figura 4.19 se aprecia la gráfica de la dispersión del ejemplo, en el cual los puntos azules representan la constelación recibida de la señal y los puntos rojos son los datos ecualizados de la señal. La principal diferencia para medios de transmisión en zonas urbanas y rurales es el tipo de desvanecimiento producido por la superficie geográfica a la que está expuesta el canal. Para la figura a) se tiene un ambiente urbano normal por lo que se utiliza un canal de desvanecimiento Rayleigh es decir tiene una línea de vista entre el emisor y receptor con obstáculos. Para la figura b) se tiene un ambiente de Área Rural, por lo que se usa un canal de desvanecimiento Rician debido a que tiene una línea de vista directa más varias ondas reflejadas entre el emisor y receptor. Al comparar las dos gráficas de la simulación se puede apreciar que tanto la constelación recibida de la señal y los datos ecualizados de la señal es mejor en la figura b).

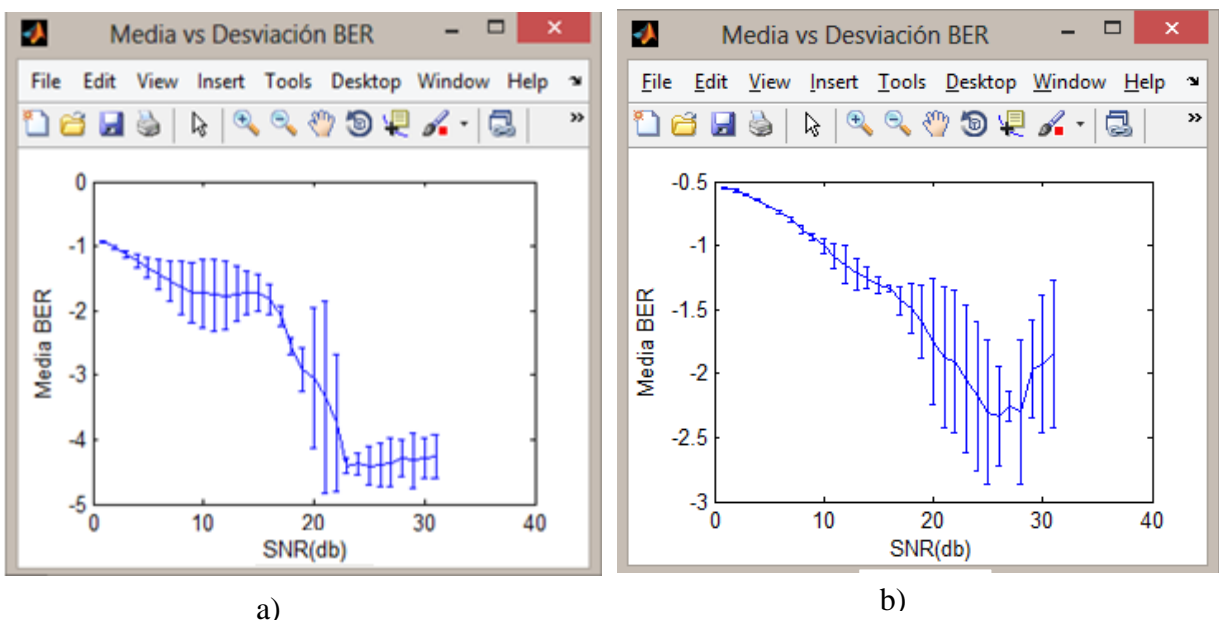


a)

b)

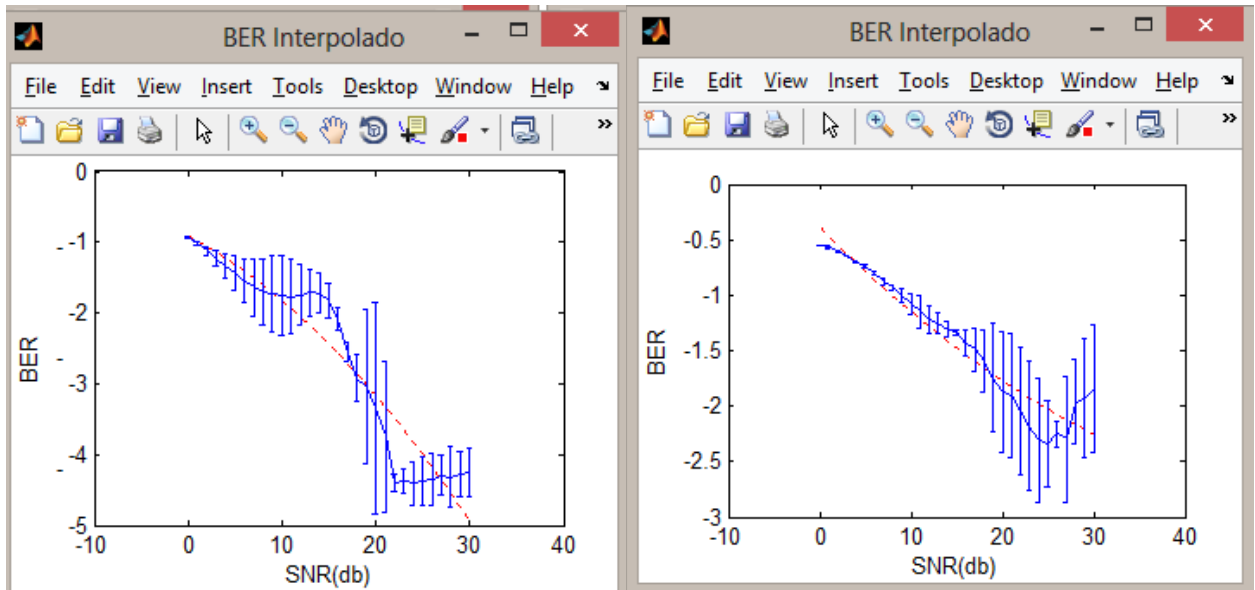
**Figura 4. 19:** Gráfica de la Dispersión de una señal en DVB-T2 (Investigadora)

La SNR es la relación de la potencia de la señal recibida sobre la potencia de ruido en la gama de frecuencias del proceso. En el cual el SNR está inversamente relacionada con BER, es decir mientras más alta es el BER disminuye el SNR. Esta relación se da debido a que cuando existe un BER alto provoca un aumento en la pérdida de paquetes, mejora el rendimiento en la demora y disminución del SNR. En la Figura 4.20 a) se puede observar que la señal es mucho mejor debido a que el SNR disminuye significativamente ya que al usar una modulación de 2 QAM esta necesita de menor número de combinaciones, mientras que en la Figura 4.20 b) ocupa una modulación de 16 QAM y necesita más número de combinaciones, por lo que existe mayor ruido.



**Figura 4. 20:** Gráfica de Media BER y SNR usando el estándar DVB-T2 de TDT.  
(Investigadora)

En la Figura 4.21 a) y b) se observa la interpolación de los puntos obtenidos por la relación del BER y SNR.

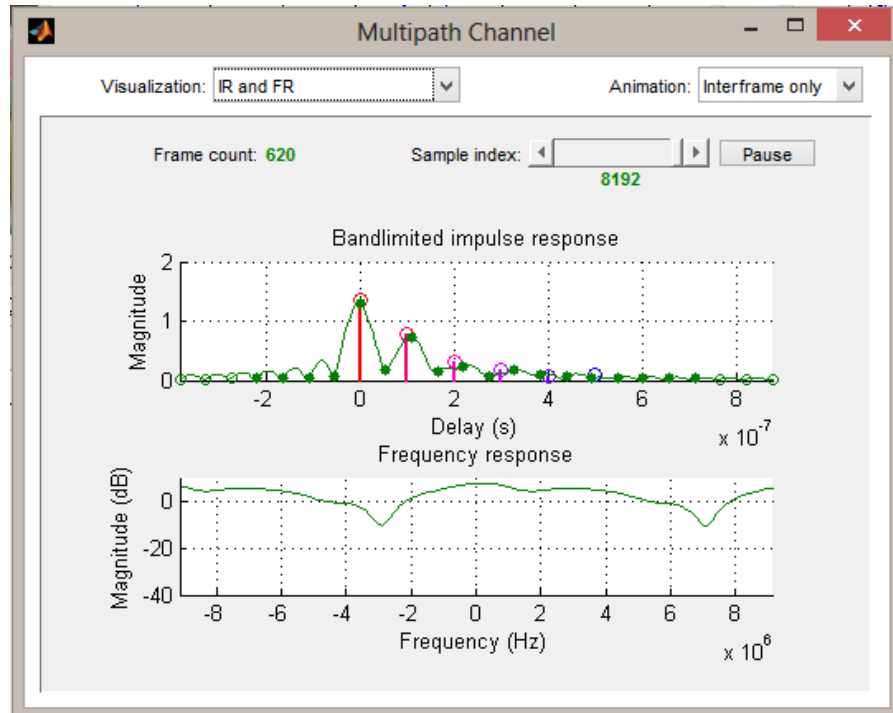


a)

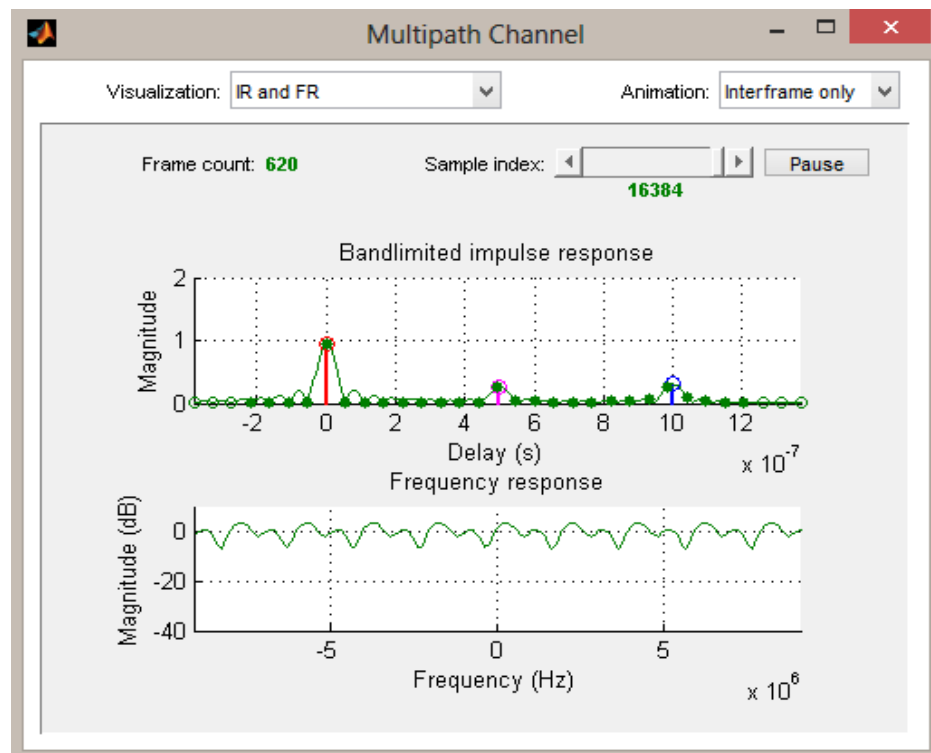
b)

**Figura 4. 21:** Gráfica del BER interpolado usando el estándar DVB-T2.(Investigadora)

En la Figura 4.22 se aprecia el análisis de la respuesta de impulso, la curva de color verde nos permite visualizar la respuesta al impulso de banda limitada, a más de ello también muestra los retrasos y las magnitudes de las ganancias de la decoloración de ruta subyacentes (rojo / magenta / azules) agrupados en torno al pico de la respuesta de impulso. El lapso de retardo del canal (12 microsegundos) es mucho más pequeño que nuestro periodo de símbolo, estos componentes provocan dispersión en el tiempo mínimo, en el que la resultante de la respuesta de impulso de la banda limitada se aproxima mucho a un pulso de sincronismo y por lo tanto tiene muy pequeña interferencia entre símbolos (ISI) . Además se puede observar la respuesta de frecuencia de la señal la cual se da mediante la relación del el rango de frecuencias del equipo vs amplitud, este gráfico indica qué tanto puede realzar o atenuar las señales de entrada un equipo.



a)



b)

**Figura 4. 22:** Gráfica de la Respuesta de Impulso de la Banda Limitante y respuesta de frecuencia de una señal usando DVB-T2. (Investigadora)

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- El estándar DVB-T2 ofrece velocidades de datos entre 50% y 90% más alto que ISDB-T para el mismo nivel de robustez. El aumento se debe a los siguientes avances:
  - Mayor Ancho de Banda: Ya que en ISDB-T tiene un ancho de banda de 5.57 MHz, mientras que en DVB-T2 tiene un ancho de banda de 1.5, 5, 6, 7, 8 o 10 MHz
  - Girado Constellation: ISDB-T no tiene constelación girada, mientras que en DVB-T2 si posee.
  - Mayor opción para intervalo de guarda: ISDB-T posee un intervalo de guarda de 1/4, 1/8, 1/16 o 1/32; mientras que para DVB-T2 tenemos 1/4, 19/128, 1/8, 19/256, 1/16, 1/32 y 1/128.
  - Modos de FFT Superiores: Para ISDB-T tenemos 2k, 4k y 8K, mientras que para DVB-T2 tenemos 1k, 2k, 4k, 8k, 16k y 32K.
- El estándar DVB-T2 utilizado por Televisión Digital Terrestre es un sistema escalable, gracias a su versatilidad y compatibilidad permite escoger modos de funcionamiento de transmisión con un solo PLP o con múltiples PLPs, optimizando el uso de un mismo canal, así como también escoger el tipo de modulación: BPSK,

QPSK, 16 QAM, 64QAM y 256QAM de acuerdo a características y parámetros de transmisión.

- Al simular el estándar DVB-T2 se pueden escoger de entre muchos modos FFT como: 1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k en combinación con 8 patrones de pilotos distintos lo que permite la reducción de la sobrecarga con la frecuencia de red única (SNR) de forma muy significativa y un mejores su rendimiento .
- El uso de la Codificación FEC en el estándar DVB-T2 es uno de los aspectos más importantes, debido a que tiene el desafío de aumentar las emisiones de la señal conservando u optimizando la calidad de las mismas sin la necesidad de aumentar su potencia. Este subsistema se basa en los códigos BCH y códigos LDPC. Para el estándar DVB-T2 existen 6 tasas de código LDPC (1/2, 3/5, 2/3, 3/4,4/5 y 5/6) determinados por la IEEE, es decir mientras menor sea el valor de la relación de la tasa de código existe una mejor protección de errores, ya que el SNR disminuye significativamente.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Entre las principales características para recomendar al sistema DVB-T2 como estándar oficial en el Ecuador para TDT en comparación con el sistema ISDB-T, se puede nombrar: flexibilidad y escalabilidad en cuanto al ancho de banda y el intervalo de guarda, además de un aumento significativo en la velocidad de transmisión de datos que permite establecer ventajas favorables en cuanto a la robustez de una señal emitida.
- Es recomendable hacer uso de múltiples PLPs en el estándar DVB-T2, ya que permite obtener una mejor robustez de servicios específicos como datos, video y audio, cada PLP tiene su propia modulación, tasa de código FEC y entrelazado, logrando de esta manera transmitir la señal de todos los PLPS a una misma frecuencia.

- Sería recomendable realizar un análisis de los efectos del ruido de fase y los problemas que son producidos por la incorrecta sincronización en tiempo y frecuencia. De manera que estos efectos van a provocar que los modos en los que se obtiene mejores prestaciones de servicio, es decir en los portadoras de 16K y 32K ya no sean las que tengan mejor rendimiento, ya que se verían más afectados por los dichos problemas.
- Al observar el comportamiento de la relación SNR utilizando las diferentes tazas de código LDPC, sería factible realizar una investigación exhaustiva que permita determinar la capacidad y variabilidad porcentual de la mejora en la protección de errores así como la disminución del ruido en el estándar de TDT DVB-T2.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Marcos., C. S., «“Simulador de la capa física de DVB-T para LAVICAD”,» 2007. [En línea]. Disponible: [http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/5425/1/MEMORIA\\_PFC\\_bn.pdf](http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/5425/1/MEMORIA_PFC_bn.pdf). [Último acceso: 04 Noviembre 2015].
- [2] I.Castro, «“Simulador de un sistema de Transmisión, Recepción y ecualización de DVB-T en Simulink.”»,» 2007, pp. 2-70.
- [3] Gómez, R. David, Estudio de Televisión Digital para Comparación de sus Estándares, Ambato, 2010, p. 1-70.
- [4] J. S. Byron Moreno, «ESTUDIO Y ANALISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE PARA EL ECUADOR,» Noviembre 2011. [En línea]. Disponible: <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1435/13/UPS-CT002165.pdf>. [Último acceso: 19 Octubre 2015].
- [5] R. J. M. T. R. M. José Manuel Huidobro Moya, Tecnologías de telecomunicaciones, S.A, Ed., Alfaomega , 2006, pp. 22-26.
- [6] M. Robales, «Sistemas de transmisión televisivos NTSC, PAL y SECAM,» 2005. [En línea]. Disponible: <http://www.digitalfotored.com/videodigital/formacionsistemastelevision.htm>. [Último acceso: 29 Agosto 2015].
- [7] S. R. Theodore, «“Wireless communications: Principles and Practice”,» 2001, [En línea]. Disponible: <http://www.dvb.org/>. [Último acceso: 05 Septiembre 2015].
- [8] Rúales, M., «“Televisión Digital Terrestre y procesos para su implantación”,» *TECHNOVO*, vol. 8, nº 36, pp. 14-18, 2009.
- [9] T. Jokela, «“Performance analysis of substituting dvb-s2 ldpc code for dvb-t error control coding system,”»,» Inglaterra, April, 2008, pp. 1-80.
- [10] A. C. y. C. Villacrés, Analisis y Estudio de Ingeniería para selección de un estándar de Televisión Digital más apropiado para el Ecuador bajo la supervisión de SUPERTEL, Riobamba, 2009.

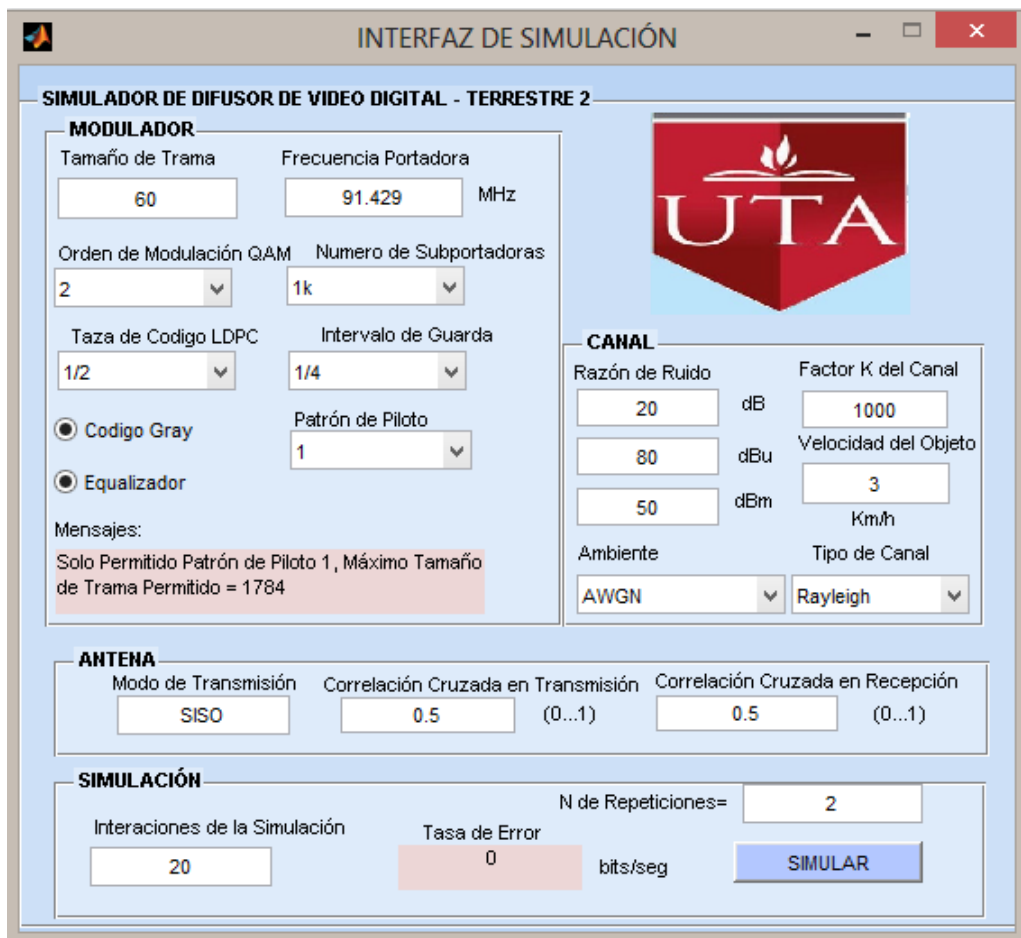
- [11] y. D. D. R. Sotelo, «“Modulación Digital: Aplicación a la Televisión Digital en DVB”», Uruguay, Montevideo, Profesor de Televisión y Multimedia, Universidad de Montevideo, 2010, pp. 13-60.
- [12] J. E. D. V. B. (DVB)., «“Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television”», Standard, EN 300 744 (V1.5.4), January 2011.
- [13] T. Muñoz, «“Técnicas digitales de modulación en las comunicaciones”», de *Televisión Digital Terrestre, Capítulo 4*, México, Primera Edición, Editorial THOMSON, 2003, pp. 46-100.
- [14] Manuel Fuentes Muela, *Evaluación de prestaciones (rendimiento e interferencias)*, Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
- [15] ARQHYS, «Generacion DPSK», [En línea]. Disponible: <http://www.arqhys.com/general/generacion-de-dpsk.html>. [Último acceso: 25 09 2015].
- [16] A. G. Armada, «“Contribución al desarrollo de técnicas de sistemas de comunicaciones.”», Ph.D. dissertation, Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, 1998, pp. 2-70.
- [17] *Understanding DVB-T2 Key technical, business, & regulatory implications*, DigiTAG - The Digital Terrestrial Television Action Group, 2009.
- [18] ENENSYS Technologies, «BENEFITS OF USING MULTIPLE PLP IN DVB-T2», [En línea]. Disponible: <http://www.enensys.com>. [Último acceso: 22 Octubre 2015].
- [19] MATCALCULUS <http://matcalculus.wikidot.com/>, «Matcalculus», [En línea]. [Último acceso: 18 Noviembre 2015].
- [20] H. Moore, MATLAB para ingenieros, México: PEARSON EDUCACIÓN, 2007.
- [21] S. R. Theodore, Wireless communications: Principles and Practice, New Jersey: 2nd ed.
- [22] «RF Technology & Design», Radio-Electronics.com, [En línea]. Disponible: <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/ofdm/ofdm-basics-tutorial.php>. [Último acceso: 15 Diciembre 2015].
- [23] J. L. V. G. R. A. C. Oriol Sallent Roig, Principios de Comunicaciones Mviles,

- UPC, 2003.
- [24] D. G. David Vargas, *Performance Evaluation of DVB-T2 Time Interleaving*, España.
- [25] E. Nurellari, «LDPC Coded OFDM And It's Application To DVB-T2, DVB-S2 And IEEE 802.16e,» Enero 2012. [En línea]. Disponible: [http://faraday.ee.emu.edu.tr/eaince/gradthesis/Full\\_Thesis\\_Edmond.pdf](http://faraday.ee.emu.edu.tr/eaince/gradthesis/Full_Thesis_Edmond.pdf). [Último acceso: 19 Agosto 2015].
- [26] Anonimo, «Análisis de Técnicas de Modulación Adaptiva en Redes Inalámbricas de Banda Ancha (IEEE 802.16, WiMAX) para usuarios móviles.».
- [27] Donozo Fernandez Alvaro, «Modulacion OFDM Terrestre,» 12 Abril 2012. [En línea]. Disponible: [http://es.slideshare.net/Erika2790/savedfiles?s\\_title=ofdm-final-12528807&user\\_login=UNDERGIRL](http://es.slideshare.net/Erika2790/savedfiles?s_title=ofdm-final-12528807&user_login=UNDERGIRL). [Último acceso: 2015 Septiembre 05].
- [28] I. J. F. Castillo, «Decodificador Esférico de Complejidad Reducida para Sistemas de Comunicación MIMO,» Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Sao Pablo, 2012.
- [29] R. David Gómez, « Estudio de la Televisión Digital para Comparación de sus Estándares,» Ambato, 2010, p. 1 -80.
- [30] C. O. J. G. D. Perez-Calderón, *Rotated Constellations for DVB-T2*, Madrid.
- [31] «Estándar ISDB-T para Televisión Digital Terrestre,» 20 Junio 2012. [En línea]. Disponible: [http://www.divxland.org/es/article/23/estA\\_ndar\\_isdb\\_t\\_para\\_televisiA\\_n\\_digital\\_terrestre#.U3oJiv15P0M](http://www.divxland.org/es/article/23/estA_ndar_isdb_t_para_televisiA_n_digital_terrestre#.U3oJiv15P0M). [Último acceso: 19 Octubre 2015].

# ANEXOS

## ANEXO 1: MANUAL DE USUARIO

1. La interfaz desarrollada presenta una portada con varias opciones, las cuales están divididas en secciones y pueden ser modificadas de acuerdo a los parámetros determinados por el estándar.

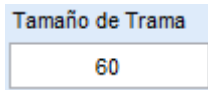


### MODULADOR

En la sección modulación se puede encontrar diferentes opciones las que se van a mencionar a continuación:

**Tamaño de Trama:** La longitud de la trama, depende del tamaño de la FFT, intervalo de guarda, y el número de símbolos de datos OFDM. Es un parámetro configurable que se limita a un valor máximo de 250 milisegundos. Para esta simulación hemos usado 60

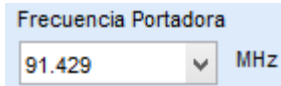
debido a que el mínimo valor de tamaño de trama para los símbolos OFDM dados por el artículo DVB.



Tamaño de Trama

60

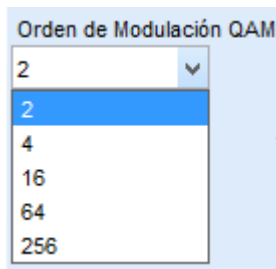
**Frecuencia de Portadora:**



Frecuencia Portadora

91.429 MHz

**Orden de modulación QAM:** Como el estándar DVB-T2 usa diversos tipos de modulación QAM, la interfaz de simulación nos da la apertura de escoger cualquiera de estas modulaciones dadas por el estándar.



Orden de Modulación QAM

2

2

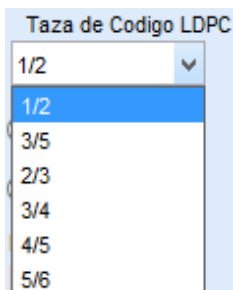
4

16

64

256

**Taza de Código LDPC:** En el estándar DVB-T2 se usa códigos rate para la protección contra errores, la interfaz de simulación permite escoger cualquiera de estas tazas de LDPC, en la cual la tasa de código 1/2 significa la protección de error máximo y tasa mínima de datos neta, mientras que la tasa de codificación 5/6 significa protección contra errores mínima y máxima velocidad de datos neta.



Taza de Código LDPC

1/2

1/2

3/5

2/3

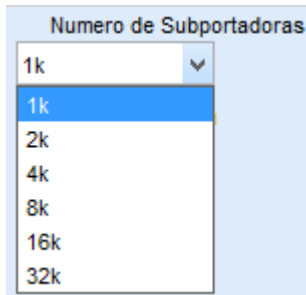
3/4

4/5

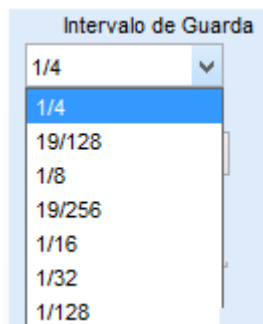
5/6

**Número de Subportadora:** El estándar DVB-T2 usa seis tipos de portadoras (1K, 2K, 4K, 8K, 16K, 32K), los cuales permiten por un lado mejorar el rendimiento de las

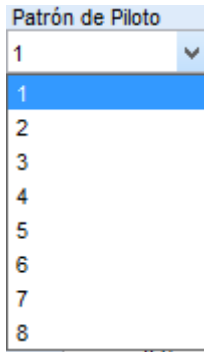
redes SFN (tamaños más grandes, 16K o 32K) y por otro mejorar el rendimiento en movilidad (1K o 4K). De igual manera la interfaz de simulación permite escoger cualquiera de estos tipos de portadoras.



**Intervalo de Guarda:** Se lo conoce como un prefijo cíclico entre símbolos para evitar que éstos interfieran unos con otros debido a los efectos de los canales multitrayecto. Se puede decir que mientras más corto sea el intervalo de guarda, se tiene menor alcance, mientras que su velocidad aumenta y viceversa. En el estándar existen 7 tipos de intervalos de guarda, los mismos que pueden ser seleccionados en la interfaz de la simulación.



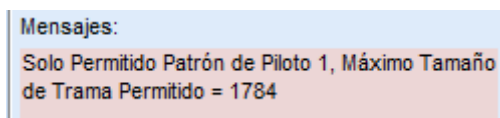
**Patrón Piloto:** DVB-T2 define 8 patrones de portadoras piloto con el fin de minimizar el overhead en función del tipo de recepción a la que está orientado el servicio.



**Código Gray:** La constelación está mapeada mediante un código Gray, es decir, dos símbolos cercanos se diferencian sólo en un bit. Esto mejora la eficiencia de la transmisión debido a que si nos equivocamos en la recepción lo más probable será que nos equivoquemos por un símbolo cercano.

**Ecualizador:** Para conseguir altas velocidades de transmisión cuando el canal es muy selectivo en frecuencia, se requieren sofisticadas técnicas de ecualización.

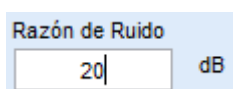
**Mensaje:**



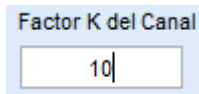
## CANAL

En la sección canal se puede encontrar diferentes opciones las que se van a mencionar a continuación:

**Razón de Ruido:** La presencia de una señal en presencia de ruido se especifica por medio de la relación señal- ruido (SNR), si el valor de SNR es bajo es difícil diferenciar la señal útil del ruido. Para el ejemplo de la simulación hemos usado como razón del ruido 20 dB el que es usado para la capacidad de un sistema para responder a señales de muy bajo nivel.

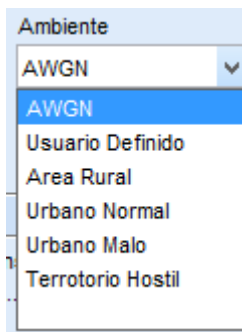


**Factor K del Canal:** El factor K se define como la razón de potencias de la componente directa de la señal y los componentes del multirrayecto. Cuando  $k=0$  el canal exhibe un comportamiento del tipo Rayleigh, mientras que cuando el valor de  $k$  es muy grande ( $k \rightarrow \infty$ ) se tiene un canal gaussiano Rice su valor típicamente esta entre 1 y 10.



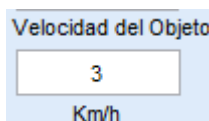
A screenshot of a software interface showing a text input field labeled "Factor K del Canal". The field contains the number "10".

**Ambiente:** Este factor nos permite escoger diversos escenarios para la simulación.



A screenshot of a software interface showing a dropdown menu labeled "Ambiente". The menu is open, displaying several options: "AWGN" (which is highlighted in blue), "Usuario Definido", "Area Rural", "Urbano Normal", "Urbano Malo", and "Terrotorio Hostil".

**Velocidad del Objeto:** La presente simulación nos da la posibilidad de escoger opciones en cuanto al parámetro de la velocidad de los objetos, lo que nos permite hacer una comparación de rendimiento en los resultados obtenidos.

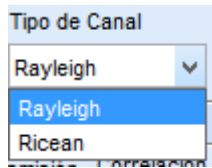


A screenshot of a software interface showing a text input field labeled "Velocidad del Objeto". The field contains the number "3". Below the field, the unit "Km/h" is displayed.

**Tipo de Canal:** La interfaz nos permite escoger entre dos tipos de canales de desvanecimiento como se indica a continuación:

- Rayleigh se produce cuando la línea de visión directa (LOS) entre emisor y receptor se ve interrumpida por obstáculos o su nivel es inferior al nivel del ruido.
- Ricean viene caracterizada por la existencia de visión directa (LOS) más varias ondas reflejadas entre emisor y transmisor y su nivel de potencia está por encima del nivel de las señales multirrayecto recibidas.

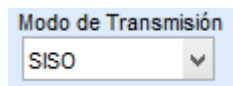




## **ANTENA**

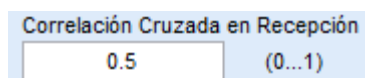
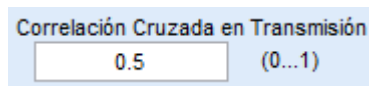
En la sección antena se puede encontrar diferentes opciones las que se van a mencionar a continuación:

**Modo de transmisión:** Para la realización del prototipo de simulación del estándar DVB-T2 se utiliza el modelo de transmisión SISO, debido a que es un sistema de comunicación que tiene una entrada única para la transmisión y salida única para la recepción, por lo tanto su funcionamiento encaja de manera óptima en la interfaz de simulación.



### **Correlación Cruzada de Transmisión y Recepción:**

Cuanto mayor sea la distancia entre los elementos de la matriz ofrecen efecto de acoplamiento inferior, pero debe tenerse en cuenta que si se suprime el efecto de acoplamiento es posible que se tenga correlación cruzada debido a la dirección de llegada. Por ejemplo, si recibe una señal de campo lejano en el eje del conjunto, elementos de la matriz adyacentes experimentan caminos similares. Esto significa que tienen correlación entre sí. Correlación cruzada depende del tipo de antena, anchura de haz, así como dirección de la señal de llegada. En teoría, la mayoría de métodos se pueden utilizar para la correlación cruzada factores de 0,5 a 1.



## SIMULACIÓN

En la sección simulación se puede encontrar diferentes opciones las que se van a mencionar a continuación:

**N de Repeticiones:** Para un mejor resultado de la simulación esta opción nos permite determinar el número de repeticiones que se desea ejecutar esta simulación.

N de Repeticiones=

**Interacciones de simulación:** Las iteraciones consisten en computar sumas de chequeos de paridad actualizando la fiabilidad de la información basada en los resultados de los chequeos de paridad. Este proceso de aumento de la fiabilidad continúa hasta que se alcanza el número máximo de iteraciones permitido por la interfaz.

Interacciones de la Simulación

**Tasa de error:** Este parámetro indica número de bits recibidos de forma incorrecta en la simulación respecto al total de bits enviados durante un intervalo especificado de tiempo.

Tasa de Error  
 bits/seg

**Simular:** Este botón permite ejecutar el programa de simulación.

# ANEXO 2

## Programación en GUI de Matlab

### Código de la Interfaz de Entrada de la simulación

```
function varargout = INTERFAZ_DE_SIMULACION(varargin)

gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn',  @INTERFAZ_DE_SIMULACION_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',   @INTERFAZ_DE_SIMULACION_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',   [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function INTERFAZ_DE_SIMULACION_OpeningFcn(hObject, eventdata,
handles, varargin)
handles.output = hObject;

guidata(hObject, handles);

[x,map]=imread('Imagen.jpg','jpg');
image(x),colormap(map),axis off;
if (get(handles.MenuOpciones8, 'Value') == 1) |
(get(handles.MenuOpciones8, 'Value') == 3) % SISO
    if (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 1) %
NumeroSubportadoras = 1k
        if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
            set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 1, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1784');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
            set(handles.TextoMensajes,'String', 'No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
            set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 2 y 3, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1982');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
            set(handles.TextoMensajes,'String', 'No Permitido');
```

```

elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4 y 5, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 2089');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
end;

elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 2) %
Tamaño de Trama Permitido = 68');
end;
end;
elseif (get(handles.MenuOpciones8, 'Value') == 2) |
(get(handles.MenuOpciones8, 'Value') == 4)
if (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 1) %
NumeroSubportadoras = 1k
if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 1, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1982');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 3, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 2089');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
end;

elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 2) %
NumeroSubportadoras = 2k
if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 1, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 991');

```

```

        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 3, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1049');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4 y 5, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1081');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
    end;

    elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 3) %
NumeroSubportadoras = 4k
        if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 1, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 991');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 3, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1049');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4 y 5, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1081');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
    end;

    elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 5) %
NumeroSubportadoras = 16k
        if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 1 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 242');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 1 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 247');

```

```

        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 3 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 259');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 3 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 262');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 5 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 270');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 5 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 276');
        end;

        elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 6) %
NumeroSubportadoras = 32k
        if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 2 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 64');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 2 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 64');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 66');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 6 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 68');
        end;
    end;
end;
set(handles.SelectorCodigo, 'Value', true);
set(handles.Equalizador, 'Value', true);

function varargout = INTERFAZ_DE_SIMULACION_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

function MenuOpciones1_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

function MenuOpciones1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function MenuOpciones2_Callback(hObject, eventdata, handles)

if (get(handles.MenuOpciones8, 'Value') == 1) |
(get(handles.MenuOpciones8, 'Value') == 3) % SISO
    if (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 1) %
NumeroSubportadoras = 1k
        if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
            set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 1, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1784');
            elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
                set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Pemitido');
            elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
                set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 2 y 3, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1982');
            elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
                set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
            elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
                set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4 y 5, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 2089');
            elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
                set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
            elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
                set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
        end;

        elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 2) %
NumeroSubportadoras = 2k
            if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
                set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 1, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 892');
                elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
                    set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
                elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
                    set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 2 y 3, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 991');
                elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
                    set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
            end;
    end;
end;

```

```

elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4 y 5, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1049');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4 y 7, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1081');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
set(handles.TextoMensajes,'String', 'No Permitido');
end;

elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 3) %
NumeroSubportadoras = 4k
if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 1, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 446');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
set(handles.TextoMensajes,'String', 'No Permitido');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 2 y 3, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 495');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
set(handles.TextoMensajes,'String', 'No Permitido');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4 y 5, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 524');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4 y 7, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 540');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
set(handles.TextoMensajes,'String', 'No Permitido');
end;

elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 4) %
NumeroSubportadoras = 8k
if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 1 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 223');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 3 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 242');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 3 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 247');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256

```



```

        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 5 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 259');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 5 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 262');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 4 y 7, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 270');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 7, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 276');
        end;

        elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 5) %
NumeroSubportadoras = 16k
        if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 1 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 111');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 3 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 121');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 3 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 123');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 4, 5 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 129');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 4, 5 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 131');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 6 y 7, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 135');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 7, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 138');
        end;

        elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 6) %
NumeroSubportadoras = 32k
        if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
        set(handles.TextoMensajes,'String','No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 2 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 60');

```

```

elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 2 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 60');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 4 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 64');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 4 y 8, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 64');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4 y 6, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 66');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 7, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 68');
end;
end;
elseif (get(handles.MenuOpciones8, 'Value') == 2) |
(get(handles.MenuOpciones8, 'Value') == 4)
elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 2) %
NumeroSubportadoras = 2k
if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
set(handles.TextoMensajes,'String', 'No Permitido');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
set(handles.TextoMensajes,'String', 'No Permitido');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 1, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 991');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
set(handles.TextoMensajes,'String', 'No Permitido');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 3, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1049');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4 y 5, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1081');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
set(handles.TextoMensajes,'String', 'No Permitido');
end;

elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 3) %
NumeroSubportadoras = 4k
if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
set(handles.TextoMensajes,'String', 'No Permitido');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128

```

```

        set(handles.TextoMensajes,'String','No Permitido');
    elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 1, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 991');
    elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
        set(handles.TextoMensajes,'String','No Permitido');
    elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 3, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1049');
    elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 4 y 5, Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1081');
    elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
        set(handles.TextoMensajes,'String','No Permitido');
    end;

    elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 4) %

    elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 6) %
NumeroSubportadoras = 32k
        if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
            set(handles.TextoMensajes,'String','No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
            set(handles.TextoMensajes,'String','No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
            set(handles.TextoMensajes,'String','No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
            set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 8 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 64');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
            set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 8 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 64');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
            set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 8 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 66');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
            set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 6, 8 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 68');
        end;
    end;
end;
function MenuOpciones2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end;

```

```

end

function MenuOpciones3_Callback(hObject, eventdata, handles)

function MenuOpciones3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function MenuOpciones4_Callback(hObject, eventdata, handles)
if (get(handles.MenuOpciones8, 'Value') == 1) |
(get(handles.MenuOpciones8, 'Value') == 3) % SISO
    if (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 1) %
NumeroSubportadoras = 1k
        if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
            set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 1 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1784');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
            set(handles.TextoMensajes,'String', 'No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
            set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 3 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1982');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
            set(handles.TextoMensajes,'String', 'No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
            set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 5 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 2089');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
            set(handles.TextoMensajes,'String', 'No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
            set(handles.TextoMensajes,'String', 'No Permitido');
        end;

        elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 2) %
NumeroSubportadoras = 2k
            if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
                set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 1 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 892');
            elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
                set(handles.TextoMensajes,'String', 'No Permitido');
            elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
                set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 3 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 991');
            elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256

```

```

        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
    elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 5      Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1049');
    elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 7      Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1081');
    elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
    end;

    elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 3) %
NumeroSubportadoras = 4k
        if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
            set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 1      Máximo Tamaño de Trama Permitido = 446');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
            set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
            set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 3      Máximo Tamaño de Trama Permitido = 495');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
            set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
            set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 5      Máximo Tamaño de Trama Permitido = 524');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
            set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 7      Máximo Tamaño de Trama Permitido = 540');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
            set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
        end;

    elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 4) %
NumeroSubportadoras = 8k
        if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
            set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 1, 8      Máximo Tamaño de Trama Permitido = 223');

        elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 6) %
NumeroSubportadoras = 32k
            if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
                set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
            elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
                set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
            end;
        end;
    end;

```

```

        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 8      Máximo Tamaño de Trama Permitido = 60');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 8      Máximo Tamaño de Trama Permitido = 60');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 4, 8   Máximo Tamaño de Trama Permitido = 64');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 4, 8   Máximo Tamaño de Trama Permitido = 64');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 6      Máximo Tamaño de Trama Permitido = 66');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 7        Máximo Tamaño de Trama Permitido = 68');
        end;
    end;
elseif (get(handles.MenuOpciones8, 'Value') == 2) |
(get(handles.MenuOpciones8, 'Value') == 4)
    if (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 1) %
NumeroSubportadoras = 1k
        if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
            set(handles.TextoMensajes,'String','No Permitido');
            elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
            set(handles.TextoMensajes,'String','No Permitido');
            elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
            set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 1        Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1982');
            elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
            set(handles.TextoMensajes,'String','No Permitido');
            elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
            set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 3        Máximo Tamaño de Trama Permitido = 2089');
            elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
            set(handles.TextoMensajes,'String','No Permitido');
            elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
            set(handles.TextoMensajes,'String','No Permitido');
        end;

        elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 2) %
NumeroSubportadoras = 2k
            if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
                set(handles.TextoMensajes,'String','No Permitido');

```

```

        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 1 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 991');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 3 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1049');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 5 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1081');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
        end;

        elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 3) %
NumeroSubportadoras = 4k
        if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 1 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 991');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 3 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1049');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 5 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1081');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
        end;

        elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 4) %
NumeroSubportadoras = 8k
        if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
        set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128

```

```

        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 1, 8      Máximo Tamaño de Trama Permitido = 242');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 1, 8      Máximo Tamaño de Trama Permitido = 247');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 3, 8      Máximo Tamaño de Trama Permitido = 259');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 3, 8      Máximo Tamaño de Trama Permitido = 262');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 5, 8   Máximo Tamaño de Trama Permitido = 270');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 5, 8   Máximo Tamaño de Trama Permitido = 276');
        end;

        elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 5) %
NumeroSubportadoras = 16k
        if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
        set(handles.TextoMensajes,'String','No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 1, 8      Máximo Tamaño de Trama Permitido = 242');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 1, 8      Máximo Tamaño de Trama Permitido = 247');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 3, 8      Máximo Tamaño de Trama Permitido = 259');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 3, 8      Máximo Tamaño de Trama Permitido = 262');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 5, 8   Máximo Tamaño de Trama Permitido = 270');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 5, 8   Máximo Tamaño de Trama Permitido = 276');
        end;
        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 6, 8   Máximo Tamaño de Trama Permitido = 68');
        end;
    end;
end;

```



```

function MenuOpciones4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function SelectorCodigo_Callback(hObject, eventdata, handles)

function TextoEditable1_Callback(hObject, eventdata, handles)
a=get(handles.TextoEditable1,'string');
b=str2num(a);
set(handles.textoeditable13,'string',num2str(60+b));
set(handles.textoeditable14,'string',num2str(30+b));

function TextoEditable1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function TextoEditable2_Callback(hObject, eventdata, handles)

function TextoEditable2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function BotonSimular_Callback(hObject, eventdata, handles)
%OrdenQAM
if (get(handles.MenuOpciones1, 'Value') == 1) OrdenQAM = 2;
elseif (get(handles.MenuOpciones1, 'Value') == 2) OrdenQAM = 4;
elseif (get(handles.MenuOpciones1, 'Value') == 3) OrdenQAM = 16;
elseif (get(handles.MenuOpciones1, 'Value') == 4) OrdenQAM = 64;
elseif (get(handles.MenuOpciones1, 'Value') == 5) OrdenQAM = 256;
end;

%TazaConversionCodigo
if (get(handles.MenuOpciones3, 'Value') == 1) TazaConversionCodigo =
'1/2';
elseif (get(handles.MenuOpciones3, 'Value') == 2) TazaConversionCodigo
= '2/3';
elseif (get(handles.MenuOpciones3, 'Value') == 3) TazaConversionCodigo
= '3/4';
else TazaConversionCodigo = '5/6';
end

%NumeroSubportadoras

```

```

if (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 1) NumeroSubportadoras =
'1k';
elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 2) NumeroSubportadoras
= '2k';
elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 3) NumeroSubportadoras
= '4k';
elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 4) NumeroSubportadoras
= '8k';
elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 5) NumeroSubportadoras
= '16k';
elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 6) NumeroSubportadoras
= '32k';
end

%IntervaloGuarda
if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) IntervaloGuarda = '1/4';
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) IntervaloGuarda =
'19/128';
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) IntervaloGuarda =
'1/8';
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) IntervaloGuarda =
'19/256';
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) IntervaloGuarda =
'1/16';
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) IntervaloGuarda =
'1/32';
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) IntervaloGuarda =
'1/128';
end

%Ambiente
if (get(handles.MenuOpciones5, 'Value') == 1) Ambiente = 'AGWN';
elseif (get(handles.MenuOpciones5, 'Value') == 2) Ambiente = 'Usuario
Definido';
elseif (get(handles.MenuOpciones5, 'Value') == 3) Ambiente = 'Area
Rural';
elseif (get(handles.MenuOpciones5, 'Value') == 4) Ambiente = 'Urbano
Normal';
elseif (get(handles.MenuOpciones5, 'Value') == 5) Ambiente = 'Urbano
Malo';
else Ambiente = 'Territorio Hostil';
end

%TipodeCanal
if (get(handles.MenuOpciones7, 'Value') == 1) TipodeCanal =
'Rayleigh';
elseif (get(handles.MenuOpciones7, 'Value') == 2) TipodeCanal =
'Ricean';
end

%Modo de TRansmision
if (get(handles.MenuOpciones8, 'Value') == 1) ModoTransmision =
'SISO';
end

%Numero de patrones piloto
if (get(handles.MenuOpciones9, 'Value') == 1) NumeroPP = 1;
elseif (get(handles.MenuOpciones9, 'Value') == 2) NumeroPP = 2;

```

```

elseif (get(handles.MenuOpciones9, 'Value') == 3) NumeroPP = 3;
elseif (get(handles.MenuOpciones9, 'Value') == 4) NumeroPP = 4;
elseif (get(handles.MenuOpciones9, 'Value') == 5) NumeroPP = 5;
elseif (get(handles.MenuOpciones9, 'Value') == 6) NumeroPP = 6;
elseif (get(handles.MenuOpciones9, 'Value') == 7) NumeroPP = 7;
elseif (get(handles.MenuOpciones9, 'Value') == 8) NumeroPP = 8;
end

%Longitud de Trama
LongitudTrama = str2num(get(handles.TextoEditable5, 'String'));

%SNR
SNR = get(handles.TextoEditable1, 'String');

%K Factor
FactorK = str2num(get(handles.TextoEditable1, 'String'));
%Correlacion curzada en transmision
AntenaTrasnmisor = str2num(get(handles.TextoEditable6, 'String'));

%Correlacion cruzada en recepcion
AntenaReceptor = str2num(get(handles.TextoEditable7, 'String'));

%NumeroInteracciones
NumeroInteracciones = str2num(get(handles.TextoEditable2, 'String'));

%NumeroRepeticiones
NumeroRepeticiones = str2num(get(handles.TextoEditable12, 'String'));

%Velocidad del movil
Velocidad = str2num(get(handles.TextoEditable3, 'String'));

%Frecuencia portadora
fp=get(handles.MenuOpciones6, 'String');
if strcmp(fp, '91.429')
    FrecuenciaPortadora = 490;
end

%Codigo Gray
CodigoGray = get(handles.SelectorCodigo, 'Value');

%Equalizador
Equalizador=get(handles.Equalizador, 'Value');

    allowed= false;
CierreTrama = false;
if (strcmp(ModoTransmision, 'SISO') == 1)
    if strcmp(NumeroSubportadoras, '1k') == 1
        if strcmp(IntervaloGuarda, '1/16') == 1
            if NumeroPP == 4 | NumeroPP == 5 & LongitudTrama <= 2098
                allowed= true;
                CierreTrama = true;
            end;
        elseif strcmp(IntervaloGuarda, '1/8') == 1
            if NumeroPP == 2 | NumeroPP == 3 & LongitudTrama <= 1982
                allowed= true;
            end;
        end;
    end;
end

```

```

        CierreTrama = true;
    end;
elseif strcmp(IntervaloGuarda, '1/4') == 1
    if NumeroPP == 1 & LongitudTrama <= 1784
        allowed= true;
        CierreTrama = true;
    end;
end;
elseif strcmp(NumeroSubportadoras, '2k') == 1
    if strcmp(IntervaloGuarda, '1/32') == 1
        if NumeroPP == 4 | NumeroPP == 7 & LongitudTrama <= 1081
            allowed= true;
            if NumeroPP == 7
                CierreTrama = true;
            end;
        end;
    end;
elseif strcmp(IntervaloGuarda, '1/16') == 1
    if NumeroPP == 4 | NumeroPP == 5 & LongitudTrama <= 1049
        allowed= true;
        CierreTrama = true;
    end;
elseif strcmp(IntervaloGuarda, '1/8') == 1
    if NumeroPP == 2 | NumeroPP == 3 & LongitudTrama <= 991
        allowed= true;
        CierreTrama = true;
    end;
elseif strcmp(IntervaloGuarda, '1/4') == 1
    if NumeroPP == 1 & LongitudTrama <= 892
        allowed= true;
        CierreTrama = true;
    end;
end;
elseif strcmp(NumeroSubportadoras, '4k') == 1
    if strcmp(IntervaloGuarda, '1/32') == 1
        if NumeroPP == 4 | NumeroPP == 7 & LongitudTrama <= 540
            allowed= true;
            if NumeroPP == 7
                CierreTrama = true;
            end;
        end;
    end;
elseif strcmp(IntervaloGuarda, '1/16') == 1
    if NumeroPP == 4 | NumeroPP == 5 & LongitudTrama <= 524
        allowed= true;
        CierreTrama = true;
    end;
elseif strcmp(IntervaloGuarda, '1/8') == 1
    if NumeroPP == 2 | NumeroPP == 3 & LongitudTrama <= 495
        allowed= true;
        CierreTrama = true;
    end;
elseif strcmp(IntervaloGuarda, '1/4') == 1
    if NumeroPP == 1 & LongitudTrama <= 446
        allowed = true;
        CierreTrama = true;
    end;
end;
elseif strcmp(NumeroSubportadoras, '8k') == 1
    if strcmp(IntervaloGuarda, '1/128') == 1
        if NumeroPP == 7 & LongitudTrama <= 276

```

```

        allowed = true;
    end;
elseif strcmp(IntervaloGuarda, '1/32') == 1
    if NumeroPP == 4 | NumeroPP == 7 & LongitudTrama <= 270
        allowed = true;
        if NumeroPP == 7
            CierreTrama = true;
        end;
    end;
elseif strcmp(IntervaloGuarda, '1/16') == 1
    if NumeroPP == 4 | NumeroPP == 5 | NumeroPP == 8 &
LongitudTrama <= 262
        allowed = true;
        if NumeroPP == 4 | NumeroPP == 5
            CierreTrama = true;
        end;
    end;
elseif strcmp(IntervaloGuarda, '19/256') == 1
    if NumeroPP == 4 | NumeroPP == 5 | NumeroPP == 8 &
LongitudTrama <= 259
        allowed = true;
        if NumeroPP == 4 | NumeroPP == 5
            CierreTrama = true;
        end;
    end;
elseif strcmp(IntervaloGuarda, '1/8') == 1
    if NumeroPP == 2 | NumeroPP == 3 | NumeroPP == 8 &
LongitudTrama <= 247
        allowed = true;
        if NumeroPP == 2 | NumeroPP == 3
            CierreTrama = true;
        end;
    end;
elseif strcmp(IntervaloGuarda, '19/128') == 1
    if NumeroPP == 2 | NumeroPP == 3 | NumeroPP == 8 &
LongitudTrama <= 242
        allowed= true;
        if NumeroPP == 2 | NumeroPP == 3
            CierreTrama = true;
        end;
    end;
elseif strcmp(IntervaloGuarda, '1/4') == 1
    if NumeroPP == 1 | NumeroPP == 8 & LongitudTrama <= 223
        allowed= true;
        if NumeroPP == 1
            CierreTrama = true;
        end;
    end;
end;
elseif strcmp(NumeroSubportadoras, '16k') == 1
    if strcmp(IntervaloGuarda, '1/128') == 1
        if NumeroPP == 7 & LongitudTrama <= 138
            allowed = true;
        end;
    end;
elseif strcmp(IntervaloGuarda, '1/32') == 1
    if NumeroPP == 4 | NumeroPP == 7 | NumeroPP == 6 &
LongitudTrama <= 135
        allowed = true;
        if NumeroPP == 6 | NumeroPP == 7

```

```

        CierreTrama = true;
    end;
end;
elseif strcmp(IntervaloGuarda, '1/16') == 1
    if NumeroPP == 2 | NumeroPP == 4 | NumeroPP == 5 |
NumeroPP == 8 & LongitudTrama <= 131
        allowed = true;
        if NumeroPP == 4 | NumeroPP == 5
            CierreTrama = true;
        end;
    end;
elseif strcmp(IntervaloGuarda, '19/256') == 1
    if NumeroPP == 2 | NumeroPP == 4 | NumeroPP == 5 |
NumeroPP == 8 & LongitudTrama <= 129
        allowed = true;
        if NumeroPP == 4 | NumeroPP == 5
            CierreTrama = true;
        end;
    end;
elseif strcmp(IntervaloGuarda, '19/128') == 1
    if NumeroPP == 2 | NumeroPP == 8 & LongitudTrama <= 60
        allowed = true;
        if NumeroPP == 2
            CierreTrama = true;
        end;
    end;
end;
end;
end;
if allowed== true
    BER = DifusionVideoDigital(LongitudTrama, FrecuenciaPortadora,
OrdenQAM, TazaConversionCodigo, NumeroSubportadoras, IntervaloGuarda,
CodigoGray, NumeroPP, CierreTrama,...
    Ambiente, TipodeCanal, FactorK, AntenaTrasnmisor,
AntenaReceptor, Velocidad, SNR, ModoTransmision, NumeroInteracciones,
Equalizador, NumeroRepeticiones );
    set(handles.texto7, 'String', num2str(BER,6));
else
    beep;
end;

function texto7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

function MenuOpciones5_Callback(hObject, eventdata, handles)

function MenuOpciones5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function TextoEditable3_Callback(hObject, eventdata, handles)

function TextoEditable3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function MenuOpciones6_Callback(hObject, eventdata, handles)

function MenuOpciones6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function MenuOpciones7_Callback(hObject, eventdata, handles)

function MenuOpciones7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function TextoEditable4_Callback(hObject, eventdata, handles)

function TextoEditable4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function MenuOpciones8_Callback(hObject, eventdata, handles)

if strcmp(get(handles.MenuOpciones8, 'string'),'SISO')
    if (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 1) %
NumeroSubportadoras = 1k
        if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
            set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 1 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1784');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
            set(handles.TextoMensajes,'String', 'No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
            set(handles.TextoMensajes,'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 3 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1982');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
            set(handles.TextoMensajes,'String', 'No Permitido');

```

```

elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 5 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 2089');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
end;

elseif (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 2) %
NumeroSubportadoras = 2k
if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 1 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 892');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 3 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 991');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'No Permitido');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 5 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1049');
if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 1, 8 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 223');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 3, 8 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 242');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 3, 8 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 247');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 5, 8 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 259');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 5, 8 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 262');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
set(handles.TextoMensajes, 'String', 'Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 7 Máximo Tamaño de Trama Permitido = 270');
elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128

```



```

        set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 7           Máximo Tamaño de Trama Permitido = 276');
        end;

end
function MenuOpciones8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

    function MenuOpciones9_Callback(hObject, eventdata, handles)

function MenuOpciones9_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function TextoEditable5_Callback(hObject, eventdata, handles)
if (get(handles.MenuOpciones8, 'Value') == 1) |
(get(handles.MenuOpciones8, 'Value') == 3) % SISO
    if (get(handles.MenuOpciones2, 'Value') == 1) %
NumeroSubportadoras = 1k
        if (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 1) %
IntervaloGuarda = 1/4
            set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 1           Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1784');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 2) %
IntervaloGuarda = 19/128
            set(handles.TextoMensajes,'String','No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 3) %
IntervaloGuarda = 1/8
            set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 2, 3           Máximo Tamaño de Trama Permitido = 1982');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 4) %
IntervaloGuarda = 19/256
            set(handles.TextoMensajes,'String','No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 5) %
IntervaloGuarda = 1/16
            set(handles.TextoMensajes,'String','Solo Permitido Patrón
de Piloto 4, 5           Máximo Tamaño de Trama Permitido = 2089');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 6) %
IntervaloGuarda = 1/32
            set(handles.TextoMensajes,'String','No Permitido');
        elseif (get(handles.MenuOpciones4, 'Value') == 7) %
IntervaloGuarda = 1/128
            set(handles.TextoMensajes,'String','No Permitido');
        end;

function TextoEditable5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function TextoEditable6_Callback(hObject, eventdata, handles)

function TextoEditable6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function TextoEditable7_Callback(hObject, eventdata, handles)

function TextoEditable7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit10_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function TextoEditable12_Callback(hObject, eventdata, handles)

function TextoEditable12_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function TextoMensajes_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

function textoeditable13_Callback(hObject, eventdata, handles)

a=get(handles.textoeditable13, 'string');
b=str2num(a);
set(handles.TextoEditable1, 'string', num2str(b-60));
set(handles.textoeditable14, 'string', num2str(b-30));

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function textoeditable13_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to textoeditable13 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.

```

```

% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function textoeditable14_Callback(hObject, eventdata, handles)
a=get(handles.textoeditable14,'string');
b=str2num(a);
set(handles.textoeditable13,'string',num2str(30+b));
set(handles.TextoEditable1,'string',num2str(b-30));

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function textoeditable14_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to textoeditable14 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

## Código para la modulación QAM

```

ModuladorQAM=modem.qammod('M',OrdenQAM,'SymbolOrder','Gray');
DEModuladorQAM=modem.qamdemod('M',OrdenQAM,'SymbolOrder','Gray');

```

## Código para el cálculo de SNR

```

tSNR=[0:1:30];
len= length(tSNR);
BER_vect = zeros(1,len);
for snr_c=1:length(tSNR);
    snr=tSNR(snr_c);
    BER=0;

    BitError=0;
    NoPormediadoBER=0;
    NoPormediadoBiterror=0;
    SimboloIndice=0;

    while SimboloIndice<NumeroInteracciones
        [DispersionPilotosTabl1 Dx Dy]= DispersionPilotos(SimboloIndice,
NumeroSubportadoras, NumeroPP);
        tSP=length(DispersionPilotosTabl1);
        tData=N-tSP;
        transmisionDatos = randi([0 OrdenQAM-1],1,tData);
        ModuladoDatos=modulate(ModuladorQAM,transmisionDatos');

        SPCnt=1;
        FasePiloto=1;
    end
end

```

```

dCount=1;
for k=1:N
    if k == DispersionPilotosTabl1(SPCnt)+1
        % Dipersion Piloto definido en la tabla 4.13
        if NumeroPP == 1 | NumeroPP == 2
            AmplitudPioto=4/3;
            stream(k) = AmplitudPioto * FasePiloto;
        elseif NumeroPP == 3 | NumeroPP == 4
            AmplitudPioto=7/4;
            stream(k) = AmplitudPioto * FasePiloto;
        elseif NumeroPP == 5 | NumeroPP == 6 | NumeroPP == 7 |
NumeroPP == 8
            AmplitudPioto=7/3
            stream(k) = AmplitudPioto * FasePiloto;
        end;
        FasePiloto=-FasePiloto;
        if SPCnt < length(DispersionPilotosTabl1)
            SPCnt = SPCnt + 1;
        end;

    else
        stream(k)=ModuladoDatos(dCount); % datos de dispersion
        if dCount<tData
            dCount=dCount+1;
        end;
    end;
end;
end;

```

## Código para IFFT

```

A=length(stream);
info=zeros(FS,1);
info(1:(A/2)) = stream(1:(A/2)).';
info((FS-((A/2)-1)):FS) = stream(((A/2)+1):A).';
TransmisionPortadoras=FS.*ifft(info,FS);

```

## Código para FFT

```

info_2N=(1/FS).*fft(RecepcionPortadoras,FS); % (I)
aInformacionH=[info_2N(1:A/2); info_2N((FS-((A/2)-1)):FS)];

```

## Código de la extracción y construcción de la tabla piloto

```

if Equalizador==1
    [info_hat,
NoAvrg_info_hat]=Real_Imaginario(aInformacionH,DispersionPilotosTabl1,
Dy,SimboloIndice,N,AmplitudPioto,snr,stream,OrdenQAM,Depth);
else
    info_hat=aInformacionH;
end;

```

```

SPC=1;

```

```

dCount=1;
stream_data=zeros(1,tData);
NoAavg_stream_data=zeros(1,tData);
for k=1:N

    if k==DispersionPilotosTabl1(Spc)+1
        if Spc < length(DispersionPilotosTabl1)
            Spc = Spc + 1;
        end;
    else
        stream_data(dCount)=info_hat(k);
        NoAavg_stream_data(dCount)=NoAavg_info_hat(k);
        if dCount<tData
            dCount = dCount + 1;
        end;
    end;
end;

```

## Código para la Demodulación QAM

```

rx_Data=demodulate(DEModuladorQAM,stream_data);
NoAavg_rx_Data=demodulate(DEModuladorQAM,NoAavg_stream_data);

```

## Código del Cálculo del BER

```

calculo BER
[biterror,BER]=biterr(transmisionDatos,rx_Data);
[NoAavg_Biterror,NoPormediadoBER]=biterr(transmisionDatos,NoAavg_rx_Data);

BitError=BitError+BER;
NoPormediadoBiterror=NoPormediadoBiterror+NoPormediadoBER;

SimboloIndice=SimboloIndice+1;
%BER=BER+BERi;

end;
BER=BitError/(SimboloIndice);
NoPormediadoBER=NoPormediadoBiterror/(SimboloIndice);

BERtable(snr_c)=BER;
NoPromedioTablaBER(snr_c)=NoPormediadoBER;

fprintf('SNR:%d\t BER:%2.6f\n',snr,BER)
fprintf('SNR:%d\t BER_NoPromediado:%2.6f\n',snr,NoPormediadoBER)
BER_vect(snr_c) = BER;
end;
BERMatrix =[BERMatrix;BER_vect];

SegundoIndice=SegundoIndice+1;

end;

end;

```

```

BERMatrix =log10(BERMatrix);
MediaBER = mean(BERMatrix)
Globalber = mean(MediaBER)
std_BER = std(BERMatrix)

fig100=figure(100);
set(fig100,'Name', 'Media vs Desviación
BER','Color','w','Position',[10 40 350 250],'NumberTitle','off');
errorbar(MediaBER,std_BER);
ylabel('Media BER')
xlabel('SNR')

P = polyfit(tSNR,MediaBER,2); % 2nd order polynomial is enough.
tSNR_10 = 0:0.1:30;% Total 301 points, can be increased
interpolated_BER = polyval(P,tSNR_10);
figx=figure(7);
set(figx,'Name', 'BER Interpolado','Color','w','Position',[380 40 350
250],'NumberTitle','off');
plot(tSNR_10,interpolated_BER,':r');
hold on
errorbar(tSNR,MediaBER,std_BER);

```

## Código del Total de Subportadoras

```

function [FS N T]=TotalSubPortadoras(NumeroSubportadoras)

if strcmp(NumeroSubportadoras, '1k') == 1
    Tu=112e-6; %OFDM útil periodo
    T=Tu/1024; %período elemental de banda base
    MaximoK=853; %numero de subportadoras máximo
    Kmin=0;
    FS=2048; %tamaño IFFT/FFT
elseif strcmp(NumeroSubportadoras, '2k') == 1
    Tu=224e-6; %OFDM útil periodo
    T=Tu/1024; %período elemental de banda base
    MaximoK=1705; %numero de subportadoras máximo
    Kmin=0;
    FS=4096; %tamaño IFFT/FFT
elseif strcmp(NumeroSubportadoras, '4k') == 1
    Tu=448e-6; %OFDM útil periodo
    T=Tu/4096;
    MaximoK=3409; %numero de subportadoras máximo
    Kmin=0;
    FS=8192; %tamaño IFFT/FFT
elseif strcmp(NumeroSubportadoras, '8k') == 1
    Tu=896e-6; %OFDM útil periodo
    T=Tu/8192;
    MaximoK=6817; %numero de subportadoras máximo
    Kmin=0;
    FS=16384; % tamaño IFFT/FFT
elseif strcmp(NumeroSubportadoras, '16k') == 1
    Tu=1792e-6; %OFDM útil periodo
    T=Tu/16384;
    MaximoK=13633; %numero de subportadoras máximo
    Kmin=0;
    FS=32768; %Tamaño IFFT/FFT
elseif strcmp(NumeroSubportadoras, '32k') == 1

```

```

Tu=3584e-6; %OFDM útil periodo
T=Tu/32768;
MaximoK=27265; %numero de subportadoras máximo
Kmin=0;
FS=65536; %Tamaño IFFT/FFT
end

```

## Código de los tipos de canal de desvanecimiento

```

function
h=CanalDesvanecimiento(FrecuenciaPortadora, VelocidadHora, T, Ambiente, ModoTransmision, TipoCanal, FactorK, AntenaTransmision, AntenaRecepcion)
c = 299792458; %velocidad de EM en metros/segundos
velocidad = VelocidadHora*1e3/(60*60); % de km/hr a m/sc

fc = FrecuenciaPortadora * 1e6; %Frecuencia Portadora central
fd=fc*velocidad/c; %maximo desplazamiento Doppler

if strcmp(Ambiente, 'AWGN') ~= 1
    if strcmp(Ambiente, 'Usuario Definido') == 1
        % Retardo y ganancia del usuario definido
        tau = [0.0 5.0 10.0]*1e-7; % en unidades de 0.1 microseg
        PdB = [0.0 -3.0 -6.0];
    elseif strcmp(Ambiente, 'Area Rural') == 1
        % Retardo y ganancia para Area Rural
        tau = [0.0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0]*1e-7;
        PdB = [0.0 -4.0 -8.0 -12.0 -16.0 -20.0];
    elseif strcmp(Ambiente, 'Urbano Normal') == 1
        % Retardo y ganancia para Urbano Normal
        tau = [0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 12.0 14.0 18.0 24.0 30.0
32.0 50.0]*1e-7;
        PdB = [-4.0 -3.0 0.0 -2.0 -3.0 -5.0 -7.0 -5.0 -6.0 -9.0
-11.0 -10.0];
    elseif strcmp(Ambiente, 'Urbano Malo') == 1
        % Retardo y ganancia para Urbano Malo
        tau = [0.0 2.0 4.0 8.0 16.0 22.0 32.0 50.0 60.0 72.0
82.0 100.0]*1e-7;
        PdB = [-7.0 -3.0 -1.0 0.0 -2.0 -6.0 -7.0 -1.0 -2.0 -7.0 -10.0
-15.0];
    elseif strcmp(Ambiente, 'Territorio Hostil') == 1
        % Retardo y ganancia para Territorio Hostil
        tau = [ 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 20.0 24.0 150.0 152.0
158.0 172.0 200.0]*1e-7;
        PdB = [-10.0 -8.0 -6.0 -4.0 0.0 0.0 -4.0 -8.0 -9.0 -10.0 -
12.0 -14.0];
    end;
    % Crear canal
    if strcmp(ModoTransmision, 'SISO') == 1
        if strcmp(TipoCanal, 'Rayleigh') == 1
            h = rayleighchan(T/2, fd, tau, PdB);
        elseif strcmp(TipoCanal, 'Ricean') == 1
            h = ricianchan(T/2, fd, FactorK, tau, PdB, fd);
        end;
        h.NormalizePathGains = true;
        h.ResetBeforeFiltering = false;
        h.StoreHistory = true;
    end;
end

```

```
        h;  
    end;
```

## Código de Dispersión Piloto

```
function [DipersionPiloto Dx Dy]= DispersionPilotos(IndiceSimbolo,  
NumeroSubportadoras, NumeroPP)  
% IndiceSimbolo rango de 0 a 67  
% NumeroSubportadoras puede ser 1k, 2k, 4k, 8k, 16k 32k  
% NumeroPP puede ser 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8  
% Dx separacion de portadoras piloto rotadas  
% Dy # simbolos que forman una secuencia piloto pispersa  
  
if strcmp(NumeroSubportadoras, '1k') == 1  
    MaxSC= 853;  
elseif strcmp(NumeroSubportadoras, '2k') == 1  
    MaxSC= 1705;  
elseif strcmp(NumeroSubportadoras, '4k') == 1  
    MaxSC= 3409;  
elseif strcmp(NumeroSubportadoras, '8k') == 1  
    MaxSC= 6817;  
elseif strcmp(NumeroSubportadoras, '16k') == 1  
    MaxSC= 13633;  
elseif strcmp(NumeroSubportadoras, '32k') == 1  
    MaxSC= 27265;  
end;  
% Asignar dx y dy dependiendo de qué NumeroPP se ha seleccionado  
if NumeroPP == 1  
    Dx = 3; Dy = 4;  
elseif NumeroPP == 2  
    Dx = 6; Dy = 2;  
elseif NumeroPP == 3  
    Dx = 6; Dy = 4;  
elseif NumeroPP == 4  
    Dx = 12; Dy = 2;  
elseif NumeroPP == 5  
    Dx = 12; Dy = 4;  
elseif NumeroPP == 6  
    Dx = 24; Dy = 2;  
elseif NumeroPP == 7  
    Dx = 24; Dy = 4;  
elseif NumeroPP == 8  
    Dx = 6; Dy = 16;  
end;  
k = 0;  
p = 0;
```



## ANEXO 3

### Tablas de valores SNR vs BER de los experimentos simulados

- Valores de SNR vs BER del experimento

Para N = 1		Para N = 2	
SNR: 0	BER:0.144963	SNR: 0	BER:0.144537
SNR: 0	NoAavg_BER:0.200382	SNR: 0	NoAavg_BER:0.200617
SNR:1	BER:0.103536	SNR:1	BER:0.103496
SNR:1	NoAavg_BER:0.153318	SNR:1	NoAavg_BER:0.153312
SNR:2	BER:0.081079	SNR:2	BER:0.081874
SNR:2	NoAavg_BER:0.123080	SNR:2	NoAavg_BER:0.123966
SNR:3	BER:0.056279	SNR:3	BER:0.056618
SNR:3	NoAavg_BER:0.096223	SNR:3	NoAavg_BER:0.096636
SNR:4	BER:0.070647	SNR:4	BER:0.070241
SNR:4	NoAavg_BER:0.103436	SNR:4	NoAavg_BER:0.103023
SNR:5	BER:0.063094	SNR:5	BER:0.063427
SNR:5	NoAavg_BER:0.089725	SNR:5	NoAavg_BER:0.090577
SNR:6	BER:0.020785	SNR:6	BER:0.021318
SNR:6	NoAavg_BER:0.039970	SNR:6	NoAavg_BER:0.040469
SNR:7	BER:0.024660	SNR:7	BER:0.024455
SNR:7	NoAavg_BER:0.040979	SNR:7	NoAavg_BER:0.041170
SNR:8	BER:0.032986	SNR:8	BER:0.032662
SNR:8	NoAavg_BER:0.052140	SNR:8	NoAavg_BER:0.052100
SNR:9	BER:0.023306	SNR:9	BER:0.022988

SNR:9	NoAavg_BER:0.037168	SNR:9	NoAavg_BER:0.037283
SNR:10	BER:0.009120	SNR:10	BER:0.008878
SNR:10	NoAavg_BER:0.017749	SNR:10	NoAavg_BER:0.017499
SNR:11	BER:0.023258	SNR:11	BER:0.023224
SNR:11	NoAavg_BER:0.034964	SNR:11	NoAavg_BER:0.034473
SNR:12	BER:0.023534	SNR:12	BER:0.023745
SNR:12	NoAavg_BER:0.034579	SNR:12	NoAavg_BER:0.034325
SNR:13	BER:0.000103	SNR:13	BER:0.000101
SNR:13	NoAavg_BER:0.000588	SNR:13	NoAavg_BER:0.000648
SNR:14	BER:0.000016	SNR:14	BER:0.000010
SNR:14	NoAavg_BER:0.000196	SNR:14	NoAavg_BER:0.000231
SNR:15	BER:0.000009	SNR:15	BER:0.000014
SNR:15	NoAavg_BER:0.000209	SNR:15	NoAavg_BER:0.000240
SNR:16	BER:0.001996	SNR:16	BER:0.002008
SNR:16	NoAavg_BER:0.003367	SNR:16	NoAavg_BER:0.003535
SNR:17	BER:0.002367	SNR:17	BER:0.002430
SNR:17	NoAavg_BER:0.003467	SNR:17	NoAavg_BER:0.003535
SNR:18	BER:0.000002	SNR:18	BER:0.000004
SNR:18	NoAavg_BER:0.000010	SNR:18	NoAavg_BER:0.000018
SNR:19	BER:0.001298	SNR:19	BER:0.001367
SNR:19	NoAavg_BER:0.002071	SNR:19	NoAavg_BER:0.002116
SNR:20	BER:0.009918	SNR:20	BER:0.009850
SNR:20	NoAavg_BER:0.014701	SNR:20	NoAavg_BER:0.014585
SNR:21	BER:0.000472	SNR:21	BER:0.000521
SNR:21	NoAavg_BER:0.000769	SNR:21	NoAavg_BER:0.000854
SNR:22	BER:0.001085	SNR:22	BER:0.001169

SNR:22	NoAavg_BER:0.001855	SNR:22	NoAavg_BER:0.001917
SNR:23	BER:0.001360	SNR:23	BER:0.001495
SNR:23	NoAavg_BER:0.002240	SNR:23	NoAavg_BER:0.002427
SNR:24	BER:0.000595	SNR:24	BER:0.000621
SNR:24	NoAavg_BER:0.001258	SNR:24	NoAavg_BER:0.001321
SNR:25	BER:0.000873	SNR:25	BER:0.000820
SNR:25	NoAavg_BER:0.001457	SNR:25	NoAavg_BER:0.001422
SNR:26	BER:0.000003	SNR:26	BER:0.000003
SNR:26	NoAavg_BER:0.000199	SNR:26	NoAavg_BER:0.000201
SNR:27	BER:0.000326	SNR:27	BER:0.000342
SNR:27	NoAavg_BER:0.000637	SNR:27	NoAavg_BER:0.000651
SNR:28	BER:0.000198	SNR:28	BER:0.000216
SNR:28	NoAavg_BER:0.000270	SNR:28	NoAavg_BER:0.000262
SNR:29	BER:0.000000	SNR:29	BER:0.000000
SNR:29	NoAavg_BER:0.000000	SNR:29	NoAavg_BER:0.000000
SNR:30	BER:0.000000	SNR:30	BER:0.000000
SNR:30	NoAavg_BER:0.000071	SNR:30	NoAavg_BER:0.000078

▪ Valores de SNR vs BER del experimento

Para N = 1		Para N = 2	
SNR: 0	BER:0.111430	SNR: 0	BER:0.130895
SNR: 0	NoAavg_BER:0.167394	SNR: 0	NoAavg_BER:0.184602
SNR:1	BER:0.123975	SNR:1	BER:0.113003
SNR:1	NoAavg_BER:0.172183	SNR:1	NoAavg_BER:0.162469
SNR:2	BER:0.092071	SNR:2	BER:0.089689
SNR:2	NoAavg_BER:0.135745	SNR:2	NoAavg_BER:0.134102
SNR:3	BER:0.070116	SNR:3	BER:0.059655
SNR:3	NoAavg_BER:0.107528	SNR:3	NoAavg_BER:0.095609
SNR:4	BER:0.069766	SNR:4	BER:0.077220
SNR:4	NoAavg_BER:0.103749	SNR:4	NoAavg_BER:0.110067
SNR:5	BER:0.045627	SNR:5	BER:0.049726
SNR:5	NoAavg_BER:0.070246	SNR:5	NoAavg_BER:0.076259
SNR:6	BER:0.041712	SNR:6	BER:0.037948
SNR:6	NoAavg_BER:0.065397	SNR:6	NoAavg_BER:0.058959
SNR:7	BER:0.028288	SNR:7	BER:0.024724
SNR:7	NoAavg_BER:0.044626	SNR:7	NoAavg_BER:0.040337
SNR:8	BER:0.023727	SNR:8	BER:0.019306
SNR:8	NoAavg_BER:0.036436	SNR:8	NoAavg_BER:0.032202
SNR:9	BER:0.021141	SNR:9	BER:0.016973
SNR:9	NoAavg_BER:0.031969	SNR:9	NoAavg_BER:0.026810
SNR:10	BER:0.011000	SNR:10	BER:0.018350
SNR:10	NoAavg_BER:0.018013	SNR:10	NoAavg_BER:0.027454
SNR:11	BER:0.017377	SNR:11	BER:0.010776
SNR:11	NoAavg_BER:0.026657	SNR:11	NoAavg_BER:0.017111
SNR:12	BER:0.013627	SNR:12	BER:0.006240
SNR:12	NoAavg_BER:0.021663	SNR:12	NoAavg_BER:0.010953
SNR:13	BER:0.018843	SNR:13	BER:0.004752
SNR:13	NoAavg_BER:0.027940	SNR:13	NoAavg_BER:0.008108

SNR:14	BER:0.004151	SNR:14	BER:0.006796
SNR:14	NoAvrg_BER:0.007038	SNR:14	NoAvrg_BER:0.010634
SNR:15	BER:0.007208	SNR:15	BER:0.001679
SNR:15	NoAvrg_BER:0.011046	SNR:15	NoAvrg_BER:0.002859
SNR:16	BER:0.004420	SNR:16	BER:0.003332
SNR:16	NoAvrg_BER:0.006844	SNR:16	NoAvrg_BER:0.005249
SNR:17	BER:0.002170	SNR:17	BER:0.003584
SNR:17	NoAvrg_BER:0.003643	SNR:17	NoAvrg_BER:0.005923
SNR:18	BER:0.002285	SNR:18	BER:0.002653
SNR:18	NoAvrg_BER:0.003579	SNR:18	NoAvrg_BER:0.004109
SNR:19	BER:0.001943	SNR:19	BER:0.002722
SNR:19	NoAvrg_BER:0.003323	SNR:19	NoAvrg_BER:0.004356
SNR:20	BER:0.002631	SNR:20	BER:0.001231
SNR:20	NoAvrg_BER:0.003857	SNR:20	NoAvrg_BER:0.001828
SNR:21	BER:0.002157	SNR:21	BER:0.000431
SNR:21	NoAvrg_BER:0.003241	SNR:21	NoAvrg_BER:0.000759
SNR:22	BER:0.000292	SNR:22	BER:0.000547
SNR:22	NoAvrg_BER:0.000569	SNR:22	NoAvrg_BER:0.001038
SNR:23	BER:0.000763	SNR:23	BER:0.001066
SNR:23	NoAvrg_BER:0.001050	SNR:23	NoAvrg_BER:0.001626
SNR:24	BER:0.000763	SNR:24	BER:0.000568
SNR:24	NoAvrg_BER:0.001190	SNR:24	NoAvrg_BER:0.000924
SNR:25	BER:0.001010	SNR:25	BER:0.000950
SNR:25	NoAvrg_BER:0.001505	SNR:25	NoAvrg_BER:0.001362
SNR:26	BER:0.000421	SNR:26	BER:0.001554
SNR:26	NoAvrg_BER:0.000600	SNR:26	NoAvrg_BER:0.002318
SNR:27	BER:0.000417	SNR:27	BER:0.000505
SNR:27	NoAvrg_BER:0.000518	SNR:27	NoAvrg_BER:0.000743
SNR:28	BER:0.000354	SNR:28	BER:0.000414
SNR:28	NoAvrg_BER:0.000531	SNR:28	NoAvrg_BER:0.000700
SNR:29	BER:0.000360	SNR:29	BER:0.000578

SNR:29	NoAvrg_BER:0.000639	SNR:29	NoAvrg_BER:0.000805
SNR:30	BER:0.000191	SNR:30	BER:0.000468
SNR:30	NoAvrg_BER:0.000327	SNR:30	NoAvrg_BER:0.000543

## ANEXO 4

### Tablas de valores de BER promedio y BER estándar de los experimentos simulados

- Valores de BER promedio y estándar del experimento

BER Promedio	BER Estándar
0.8394	0.0009
0.9850	0.0001
1.0890	0.0030
1.2483	0.0018
1.1522	0.0018
1.1989	0.0016
1.6767	0.0078
1.6098	0.0026
1.4838	0.0030
1.6355	0.0042
2.0458	0.0083
1.6337	0.0005
1.6264	0.0027
3.9915	0.0072
4.8895	0.1323
4.9486	0.1512
2.6985	0.0018
2.6201	0.0081
5.5089	0.1569
2.8755	0.0159

2.0051	0.0021
3.3048	0.0302
2.9484	0.0231
2.8460	0.0291
3.2160	0.0133
3.0727	0.0192
5.4949	0
3.4765	0.0154
3.6850	0.0273



- **Valores de BER promedio y estándar del experimento**

BER Promedio	BER Estándar
0.9180	0.0494
0.9268	0.0285
1.0416	0.0080
1.1893	0.0496
1.1343	0.0312
1.3221	0.0264
1.4003	0.0290
1.5776	0.0414
1.6695	0.0633
1.7226	0.0674
1.8475	0.1571
1.8638	0.1467
2.0352	0.2399
2.0240	0.4231
2.2748	0.1514
2.4585	0.4473
2.4159	0.0868
2.5546	0.1541
2.6087	0.0459
2.6383	0.1035
2.7448	0.2332
3.0158	0.4945
3.3984	0.1928
3.0450	0.1028
3.1816	0.0911
3.0091	0.0189
3.0919	0.4007
3.3381	0.0591

3.4176	0.0481
3.3410	0.1454
3.5237	0.2747