

**ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACION DE MATERIAL DE AYUDA PARA EL
LABORATORIO DE TELEVISION DIGITAL DE LA UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA.**

**DAVID AUGUSTO AREVALO PEREZ
EDISSON ESTEBAN GOMEZ GARCIA**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES
PROYECTO DE GRADO
BOGOTÁ D.C.
2012**

**ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACION DE MATERIAL DE AYUDA PARA EL
LABORATORIO DE TELEVISION DIGITAL DE LA UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA.**

**DAVID AUGUSTO AREVALO PEREZ
EDISSON ESTEBAN GÓMEZ GARCIA**

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero en Telecomunicaciones

**DIRECTOR
ING. JOSE DE JESUS RUGELES.**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2012.**

Jurados del Proyecto

Ing. Carlos Omar Ramos

Ing. Luis Eduardo Tabares

Bogotá, 30 de Marzo de 2012

DEDICATORIA

A Dios porque nos brindo sabiduría y fortaleza, en especial a nuestros padres y hermanos quienes con su apoyo y comprensión nos daban motivación y a todas aquellas personas que de alguna u otra manera con su apoyo e interés permitieron culminar con éxito esta labor.

AGRADECIMIENTOS.

Al ingeniero José de Jesús Rugeles quien con su apoyo, esfuerzo, comprensión y dedicación como director, nos guio durante el desarrollo de este proyecto.

A la ingeniera Yaneth Cárdenas por su asesoría en la parte metodológica durante el inicio de este proyecto.

A Laura Ramirez quien nos apoyó en el diseño de imagen de las guías de laboratorio.

A nuestras familias por su dedicación y apoyo durante toda nuestra carrera profesional.

RESUMEN.

En la actualidad la televisión digital, a nivel nacional, está en pleno proceso de implementación y desarrollo, es por ello que se debe tener en cuenta la capacitación de nuevos ingenieros, por parte de las diferentes entidades de educación, incluyendo los entes reguladores de este medio.

Por esta y otras razones se ha decidido por parte de estudiantes de la Universidad Militar Nueva Granada, como proyecto de grado, crear una serie de prácticas que ayuden al análisis de las señales de Televisión Digital bajo el estándar DVB-S y DVB-T. Para el desarrollo de estas experiencias de laboratorio se crearon guías que evalúan los diferentes conceptos de esta tecnología, como el procesamiento digital de imágenes, se identifican los conceptos básicos de las comunicaciones digitales, la recepción de los diferentes estándares de DVB, análisis de la trama de transporte de las señales y el método de compresión de video MPEG-2, finalizando con una práctica en donde se lleva a cabo un proceso de transmodulación partiendo de la recepción de TV digital satelital hasta la retransmisión de esta señal en el estándar DVB-T. Todo esto es apoyado con el software Matlab y los equipos TV Explorer HD y el Modulador MO-163.

Finalmente se presenta una propuesta técnica, en la cual se hace un estudio de diferentes equipos de TV Digital, en donde se pretende recrear todo el sistema del estándar DVB-T, partiendo de las señales de video y audio, para su posterior codificación y multiplexación, donde después deben ser moduladas amplificadas y transmitidas para finalmente ser analizadas en un receptor de televisión digital. Todas estas etapas son representadas con diferentes equipos, dando opción a tres sistemas que llevan a cabo este proceso, con el fin de hacer un complemento a los equipos e instrumentación del laboratorio de Televisión Digital.

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCION	15
1.1. TITULO	16
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.3. LINEA DE INVESTIGACIÓN	17
1.4. OBJETIVOS	17
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
1.5. JUSTIFICACIÓN	18
1.5.1. ASPECTO TECNICO	18
1.5.2. ASPECTO ECONOMICO	18
1.5.3. ASPECTO SOCIAL	18
1.6. ALCANCE	19
1.7. ESTRATEGIA METODOLOGICA	19
1.7.1. FASE I: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	19
1.7.2. FASE II: DISEÑO DE GUIAS DE LABORATORIO	19
1.7.3. FASE III: PRUEBAS PILOTO DE LAS PRÁCTICAS PARA EL LABORATORIO	19
1.7.4. FASE IV: ESTUDIO PROPUESTA DE MEJORAMIENTO LABORATORIO DE TELEVISION DIGITAL	19
1.7.5. FASE V: DOCUMENTACIÓN	20
2. MARCO TEORICO	20
2.1. ANTECEDENTES	20
2.1.1. ANTECEDENTES LOCALES	20
2.1.2. ANTECEDENTES REGIONALES	20
2.1.3. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	21
2.2. MARCO CONCEPTUAL	22
2.2.1. TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE	22
2.2.2. ESTÁNDARES TDT	22
2.2.2.1. ATSC ADVANCE TELEVISION SYSTEM COMMITTEE	22
2.2.2.2. DTMB DIGITAL TERRESTRIAL MULTIMEDIA BROADCASTING	23
2.2.2.3. DVB-T DIGITAL VIDEO BROADCASTING TERRESTRIAL	23
2.2.2.4. ISDB-T INTEGRATED SERVICE DIGITAL BROADCASTING	24
2.2.2.5. SBTVD-T SISTEMA BRASILEÑO DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE	24
2.3. MARCO REFERENCIAL	25
2.3.1. CONVENCIONES ESTADO DEL SISTEMA	25
2.3.2. EL APAGÓN ANALÓGICO A NIVEL MUNDIAL	26
2.3.2.1. AMÉRICA DEL SUR 15	26
2.3.3. SISTEMA GENERAL DVB-T	28
2.3.4. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DVB-T	29
2.3.5. CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE	30
2.3.5.1. CARACTERÍSTICAS DEL VIDEO	30
2.3.5.2. CARACTERÍSTICAS DEL AUDIO	31

2.3.6.	COMPRESIÓN MPEG-2	32
2.3.7.	JPEG	33
2.3.8.	MPEG-1	34
2.3.9.	ELIMINACIÓN DE LA REDUNDANCIA ESPACIAL	34
2.3.9.1.	ELIMINACIÓN DE REDUNDANCIA ESTADÍSTICA: CODIFICACIÓN RLC Y CODIFICACIÓN DE LONGITUD VARIABLE (VLC) 37	
2.3.9.2.	ELIMINACIÓN DE LA REDUNDANCIA TEMPORAL: ESTIMACIÓN DE MOVIMIENTO	38
2.3.9.3.	ESTRUCTURA JERÁRQUICA DE UNA SECUENCIA DE VIDEO MPEG	42
2.3.9.4.	MPEG-2	43
2.3.9.5.	SISTEMA DE TRANSPORTE Y MULTIPLEXADO EN TV DIGITAL	47
2.3.9.6.	FLUJO DE TRANSPORTE MPEG-2	47
2.3.10.	TECNOLOGÍA BÁSICA DE TRANSMISIÓN	48
2.3.11.	ELEMENTOS FUNDAMENTAS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE MPEG-2	48
2.3.12.	CONCEPTO GENERAL DEL SISTEMA DE TRANSPORTE	50
2.3.13.	CARACTERÍSTICAS DE LOS PAQUETES EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE	50
2.3.14.	CAPA DE ENLACE	51
2.3.15.	CAPA DE ADAPTACIÓN	53
2.3.16.	MULTIPLEXADO EN ALTO NIVEL	55
2.3.17.	CODIFICACIÓN DE CANAL	57
2.3.18.	ADAPTACIÓN Y DISPERSIÓN DE ENERGÍA	58
2.3.19.	CODIFICACIÓN EXTERNA (REED-SOLOMON) Y ENTRELAZADO EXTERNO (FORNEY)	59
2.3.20.	CODIFICACIÓN INTERNA (CONVOLUCIONAL)	61
2.3.21.	ENTRELAZADO INTERNO	64
2.3.22.	ENTRELAZADO DE BITS	65
2.3.23.	ENTRELAZADO DE SÍMBOLOS	66
2.3.24.	MAPEADO DE LOS SÍMBOLOS	67
2.3.25.	ORGANIZACIÓN DE LA SEÑAL EN TRAMAS	68
2.3.26.	MODULACIÓN OFDM	71
2.3.27.	INSERCIÓN INTERVALO DE GUARDA	73
2.3.28.	RELACIÓN ENTRE BITRATE, SYMBOL RATE Y ANCHO DE BANDA	76
3.	MARCO LEGAL	79
3.1.	NORMAS A NIVEL NACIONAL ESTÁNDAR DVB-T	79
3.1.1.	ACUERDO POR MEDIO DEL CUAL SE REGLAMENTA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO PUBLICO DE TELEVISIÓN RADIODIFUNDIDA EN TECNOLOGÍA DIGITAL TERRESTRE TDT – COMISIÓN NACIONAL DE TELEVISIÓN (CNTV)	79
3.1.2.	ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA ACTUALIZACIÓN AL ESTÁNDAR DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE DVB-T2 - COMISIÓN NACIONAL DE TELEVISIÓN (CNTV)	80
3.1.3.	ACUERDO 8 DE 2010 POR EL CUAL SE ADOPTA PARA COLOMBIA EL ESTÁNDAR DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE DVB-T Y SE ESTABLECEN LAS CONDICIONES GENERALES PARA SU IMPLEMENTACIÓN	81
3.1.4.	ACUERDO POR EL CUAL SE MODIFICA EL ARTICULO 1 Y 7 DEL ACUERDO 8 DE 2010 Y SE ACTUALIZA EL ESTÁNDAR PARA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN COLOMBIA.	81
3.1.5.	ACUERDO POR MEDIO DEL CUAL SE ESTABLECEN CONDICIONES TÉCNICAS PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE TELEVISIÓN RADIODIFUNDIDA EN TECNOLOGÍA DIGITAL EN COLOMBIA.	81
3.2.	NORMAS INTERNACIONALES ESTÁNDAR DVB-T	82
3.2.1.	DIGITAL VIDEO BROADCASTING (DVB); FRAMING STRUCTURE, CHANNEL CODING AND MODULATION FOR DIGITAL TERRESTRIAL TELEVISION.	82

3.2.2.	SERIES H: AUDIOVISUAL AND MULTIMEDIA SYSTEMS. INFRASTRUCTURE OF AUDIOVISUAL SERVICES –CODING OF MOVING VIDEO.....	83
3.2.3.	DIGITAL VIDEO BROADCASTING (DVB); SPECIFICATION FOR SERVICE INFORMATION (SI) IN DVB SYSTEMS.....	83
4.	INGENIERIA DEL PROYECTO.....	83
4.1.	FLUJO BINARIO TOTAL.....	83
4.2.	FLUJO BINARIO ÚTIL.....	84
4.3.	DURACIÓN TOTAL DEL SÍMBOLO CODFM.....	84
4.4.	AZIMUT.....	85
4.5.	ELEVACIÓN.....	85
4.6.	DIFERENCIA DE LONGITUDES DEL SATÉLITE Y LA ESTACIÓN TERRENA.....	85
4.7.	RANGO.....	85
4.8.	POTENCIA DE RECEPCIÓN EN UN ENLACE DE BAJADA.....	86
4.9.	PÉRDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE.....	86
4.10.	PRÁCTICAS DE LABORATORIO.....	87
5.	ANÁLISIS DE EQUIPOS Y PROPUESTA TÉCNICA.....	87
5.1.	DISEÑO 1.....	88
5.2.	DISEÑO 2.....	90
5.3.	DISEÑO 3.....	91
5.4.	DISEÑO 4.....	93
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	95
6.1.	PRÁCTICA PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.....	95
6.2.	PRÁCTICA CONCEPTOS BÁSICOS DE COMUNICACIONES DIGITALES.....	95
6.3.	PRÁCTICA DE COMPRESIÓN MPEG-2.....	96
6.4.	PRÁCTICA TRAMA DE TRANSPORTE MPEG-2.....	96
6.5.	PRÁCTICA RECEPCIÓN SISTEMA DVB-T.....	97
6.6.	PRÁCTICA RECEPCIÓN SISTEMA DVB-S.....	98
6.7.	PRÁCTICA TRANSMODULACIÓN DVB-S/DVB-T.....	99
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
7.1.	CONCLUSIONES.....	101
7.2.	RECOMENDACIONES.....	102
8.	BIBLIOGRAFIA.....	103

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Difusión de los estándares de televisión digital en el mundo. -----	25
Figura 2. Diagrama General del Sistema DVB-T -----	28
Figura 3. Diagrama General del Sistema DVB-T. -----	29
Figura 4. Comparación entre resoluciones de video. -----	30
Figura 5. Muestras del valor analógica de la una señal.-----	32
Figura 6. Proceso general de compresión y descompresión de la información. -----	32
Figura 7. Proceso general del sistema MPEG-1.-----	34
Figura 8. Proceso DCT.-----	35
Figura 9. Bloque DCT ascendente y descendente redondeado.-----	35
Figura 10. Secuencia de ordenación de los coeficientes de matriz DCT.-----	36
Figura 11. Proceso de Cuantificación. -----	37
Figura 12. Ejemplo de bloques utilizados para realizar la predicción en una codificación diferencial. -----	38
Figura 13. Ejemplo estimación de movimiento imágenes P.-----	41
Figura 14. Ejemplo estimación de movimiento de imágenes B -----	41
Figura 15. Secuencia de imágenes MPEG.-----	42
Figura 16. Estructura Jerárquica de la trama MPEG.-----	42
Figura 17. Regiones de Luminancia y componentes de Crominancia. -----	43
Figura 18. Niveles y Perfiles de MPEG-2. -----	45
Figura 19. Esquema básico de proceso de codificación MPEG-2.-----	46
Figura 20. Formato de los paquetes de transporte.-----	51
Figura 21. Formato del encabezado de enlace. -----	52
Figura 22. Arquitectura general de la inserción de programas.-----	54
Figura 23. Multiplexado de flujo de transporte de programa. -----	56
Figura 24 Función del multiplex para formar el flujo binario a nivel del sistema. -----	57
Figura 25. Codificador de canal en DVB-T. -----	57
Figura 26. Generador PRBS para dispersión de energía del flujo de transporte (Aleatorizador).----	58
Figura 27 Resultado de la adaptación y dispersión de energía del TS MPEG-2.-----	59
Figura 28 Resultado de la codificación Reed Solomon y entrelazado convolucional. -----	60
Figura 29. Diagrama conceptual del entrelazador y descentrelazador convolucional externo -----	61
Figura 30. Codificación Interna y entrelazado interno.-----	62
Figura 31. Codificador convolucional de relación 1/2. -----	62
Figura 32. Codificación interna. Esquema de perforada y secuencia transmitida en formato paralelo.-----	63
Figura 33. Entrelazador Interno. -----	64
Figura 34 Proceso de obtención de vectores entrelazados Y-----	66
Figura 35 Proceso de mapeado para constelación 16QAM. -----	67
Figura 36 Constelación 64QAM con portadoras pilotos y continuas.-----	69
Figura 37. Espacio y localización de portadoras para canales de 8MHz.-----	70

Figura 38. Proceso de modulación en cuadratura para los modos 2K y 8K.-----	71
Figura 39. Espectro OFDM.-----	72
Figura 40. Espectro modulación OFDM portadoras adyacentes. -----	72
Figura 41. Inserción del intervalo de guarda.-----	74
Figura 42. Distribución de las portadoras en tiempo y frecuencia. -----	75
Figura 43 . Inserción del Intervalo de Guarda.-----	76
Figura 44. Distribución de equipos de características básicas. -----	89
Figura 45. Distribución de equipos de características altas. -----	91
Figura 46. Distribución de equipos con recepción del entrenador universal de recepción de televisión digital.-----	92
Figura 47. Distribución de equipos con recepción del entrenador universal de recepción de televisión digital.-----	94
Figura 48. Practica de compresión MPEG-2-----	96
Figura 49. Práctica Trama de Transporte MPEG-2.-----	97
Figura 50. Práctica Recepción Sistema DVB-T. -----	98
Figura 51. Práctica Recepción Sistema DVB-S. -----	99
Figura 52. Práctica Transmodulación DVB-S/DVB-T.-----	100

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Difusión de los estándares de televisión digital en el mundo	25
Tabla 2 Convenciones del sistema.....	26
Tabla 3 Estandarización y Apagón Analógico en América del Sur	27
Tabla 4 Estadísticas de los sistemas en el mundo.	27
Tabla 5. Resoluciones de Pantalla.....	31
Tabla 6. Entrelazado de bits.	65
Tabla 7. Entrelazado de símbolo.....	66
Tabla 8 Distribución de bits en señales I, Q.....	67
Tabla 9 Número de portadoras para DVB-T.	68
Tabla 10. Índice de posición de las portadoras TPS.	70
Tabla 11. Valores numéricos para los parámetros OFDM en los modos 8K y 2K para canales de 8 MHz.	74
Tabla 12. Duración de la parte de símbolo para los intervalos de guarda en canales de 8 MHz.	75
Tabla 13. Carga Útil en función del intervalo de guarda, modulación y tasa de codificación (8 MHz)	78
Tabla 14. Normas nacionales.....	79
Tabla 15. Normas internacionales.	82
Tabla 16. Clasificación de equipos de TDT.	88
Tabla 17. Tabla de equipos diseño 2	90
Tabla 18. Tabla de equipos diseño 2	91
Tabla 19. Equipos diseño 3	92
Tabla 20. Equipos diseño 4	94

CONTENIDO DE ECUACIONES.

Ecuación 1. Flujo binario total.	84
Ecuación 2. Flujo binario útil.	84
Ecuación 3. Duración total del símbolo CODFM.....	84
Ecuación 4. Angulo azimut.	85
Ecuación 5. Elevación.	85
Ecuación 6. Diferencia de longitudes del satélite y la estación terrena.	85
Ecuación 7. Angulo de cobertura.....	86
Ecuación 9. Propagación.	86
Ecuación 10. Perdida en el espacio libre.....	86

CONTENIDO DE ANEXOS

Anexo A. Tabla Estandarización y Apagón Analógico a Nivel Mundial.

Anexo B. Hojas técnicas equipos de televisión digital.

Anexo C. Documentos normativa general del estándar DVB-T (Nacional e Internacional).

Anexo D. Tabla de comparación de equipos propuestos para el laboratorio de televisión digital.

Anexo E. Descripción general de equipos propuestos para el laboratorio de televisión digital.

Anexo F. Documentos generales necesarios para el desarrollo de las prácticas.

Anexo G. Guías de Laboratorio de televisión digital.

Anexo H. Soluciones de la guías de laboratorio de televisión digital.

1. INTRODUCCION

La televisión es uno de los medios con mayor penetración en la sociedad, entonces es inevitable hablar de la evolución que se viene evidenciando a través del tiempo de este sistema masivo de comunicación desde que era vista a blanco y negro hasta la actualidad, donde se involucran aspectos como la interactividad entre el hombre y la máquina para hacer de este medio uno de los más importantes a través de la historia.

A nivel mundial se han implementado diferentes estándares, basados en tecnologías digitales, que como objetivo primordial pretenden sacar el mayor provecho y beneficios que esta ofrece. Hace algunos años Colombia opto por la inclusión del estándar DVB, el cual ha sido implementado por muchos países como la mejor opción de difusión de televisión digital. A nivel nacional se ha venido trabajando con la señales DVB-T, en donde se han llevado a cabo diferentes pruebas de transmisión y recepción por parte de entidades privadas y gubernamentales, y en la actualidad ya se cuenta con 5 canales que transmiten sus servicios de forma digital.

El Programa de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Militar Nueva Granada, adquirió los equipos Modulador MO-16X - Analizador TV Explorer HD/HDLE y creyó conveniente, diseñar e implementar, un conjunto de prácticas de laboratorio utilizando estos dispositivos con el propósito dar apoyo al contenido de la Asignatura Electiva Televisión Digital.

Como resultado de este proyecto se tiene: un conjunto de 7 prácticas de laboratorio, cada una con guía de estudiante, guía del docente y video explicativo; un documento con la descripción técnica de los equipos y elementos usados en el laboratorio y una propuesta técnica como apoyo al proceso de selección de nuevos equipos para el laboratorio de Televisión Digital, considerando la evolución del estándar DVB-T a DVB-T2.

Este documento está estructurado de la siguiente manera:

Un primer capítulo que contiene los documentos iniciales donde se describen las generalidades del proyecto como: formulación del problema, objetivos, justificación y la estrategia metodológica a seguir para el desarrollo del proyecto.

En el segundo capítulo se hace referencia a los diferentes estándares de TDT a nivel mundial mediante un análisis comparativo. Se incluye además un breve contenido teórico de la tecnología DVB-T, en donde se describen las diversas etapas del sistema.

La ingeniería del proyecto está contenida en el tercer capítulo, y se encuentra dividido en 3 temas principales. Como contenido inicial se incluyen las ecuaciones usadas en cada una de las prácticas y una descripción de estas, como segunda medida están incluidas en el **Anexo G** las prácticas de laboratorio: Procesamiento Digital de Imágenes, Conceptos

Básicos de Comunicaciones Digitales, Compresión MPEG-2, Trama de Transporte MPEG-2, Recepción del Sistema DVB-T, Recepción del Sistema DVB-S y Transmodulación DVB-S/DVB-T, todas estas prácticas fueron diseñadas con el fin de abordar los temas más representativos de la Televisión Digital. Las prácticas de laboratorio incluyen además un video tutorial que muestra el proceso que se debe llevar a cabo para el desarrollo de las mismas y algunos documentos de interés general.

Ahora bien dentro en este capítulo, se incluye una propuesta técnica, en donde se hace un estudio y análisis de todas las características técnicas de diferentes equipos que pueden ser usados, en las etapas de DVB-T y DVB-T2, con el fin de proponer 4 sistemas para que sean evaluados, con el fin de escoger uno para reforzar el laboratorio y así enriquecer el trabajo de los estudiantes dentro del laboratorio de Televisión Digital.

Finalmente se espera que este trabajo sirva como base para continuar estudios que permitan agilizar el proceso de aprendizaje y nuevos proyectos de tecnologías afines a la Televisión Digital.

1.1. TITULO

Debido a la adopción del estándar europeo (DVB) para Colombia, es necesario que la actualización no solo se aplique comercialmente, también se realizara una actualización de contenidos académicos en los diferentes centros educativos, que permitiría estar a la vanguardia en tecnología y conocimientos, por todo lo aquí enunciado este trabajo se tituló “ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACION DE MATERIAL DE AYUDA PARA EL LABORATORIO DE TELEVISION DIGITAL DE LA UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.”

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

A nivel mundial se viene evidenciando un avance tecnológico en cuanto a televisión se refiere. La televisión digital incorpora cambios con relación a transmisión de señal, mejor calidad de imagen y sonido, mayor número de canales disponibles, acceso a nuevos servicios digitales como interactividad, entre otras características que presta este nuevo servicio. Grupos y organizaciones como ARIB, DVB, ATSC entre otras han llevado a cabo estudios y desarrollos en los cuales se plantea el proceso de transición de televisión análoga a digital. Cada una de estas entidades se hace cargo del manejo y evolución de los estándares que sostienen esta nueva tecnología.

En el año 2006, en Colombia a través de la Comisión Nacional de Televisión con ayuda de expertos en el tema y delegados de otras entidades gubernamentales y privadas, se dio inicio al proceso de selección del estándar, para lo cual se consideraron aspectos técnicos, socioeconómicos, estudios en los hábitos de consumo del usuario final y realización de foros de TDT a nivel nacional. En Agosto de 2008, se adoptó el sistema europeo DBV-T gracias al análisis de características como: transmisión de señal de alta definición, similitud de la topografía europea con la colombiana y baja interferencia entre otras. Actualmente

en Colombia se están definiendo los parámetros técnicos para llevar a cabo el proceso de transición de televisión análoga a digital, en donde se tiene en cuenta un aspecto importante que es la elección del proveedor de los decodificadores (set-top-box) para los televisores que no cuentan con un sistema integrado de TDT y con esto llevar a un proceso de masificación y consumo de esta nueva tecnología en el país. [13]

Debido a esto, surge la necesidad de capacitar profesionales ya que en la actualidad no se cuenta con personal preparado en el área de Televisión digital. Las entidades de educación superior y centros especializados ven a partir de la definición del estándar, la necesidad de adecuar laboratorios que permitan analizar y desarrollar prácticas de formación y proyectos de investigación, mediante un estudio profundo en las diferentes características que trae consigo la televisión digital.

Además de realizar una adecuación tecnológica, las mencionadas entidades deben contar con un material de apoyo acorde con la evolución de esta nueva tecnología, que permita llevar estos conceptos al aula lo cual facilitará el proceso de gestión de conocimiento

Teniendo en cuenta dicha necesidad, la Universidad Militar Nueva Granada recientemente compró dos equipos para el análisis de este nuevo sistema, estos elementos cuentan con prácticas que en su mayoría no son aplicables a los contenidos programáticos de la universidad.

Con todo esto es apropiado preguntar entonces: ¿Cómo se puede contribuir al aprendizaje práctico del nuevo sistema de televisión a través de los equipos adquiridos por la Universidad Militar Nueva Granada?

1.3. LINEA DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto será abordado como trabajo de grado, en colaboración con el laboratorio de comunicaciones, antenas y microondas de la Universidad Militar Nueva Granada, el cual tiene como principal función dar apoyo a las clases teórico prácticas que realiza el programa de ingeniería de Telecomunicaciones, mediante prácticas orientadas y apoyadas; con ayuda de equipos, software e instrumentos que sirven como complemento al desarrollo de los futuros ingenieros.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un conjunto de prácticas de laboratorio que permitan explorar los conceptos básicos del análisis de señales de televisión digital utilizando los equipos: Modulador MO-16X - Analizador TV Explorer HD/HDLE.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- ✓ Analizar las capacidades técnicas de los equipos descritas en la documentación suministrada por el proveedor que permita llevar a cabo el proceso de diseño de las guías de laboratorio.
- ✓ Crear una práctica de laboratorio utilizando MATLAB orientada al estudio de aspectos básicos de procesamiento digital y compresión de sonido e imagen, que permita abordar algunos conceptos útiles en el estudio de la Televisión Digital.
- ✓ Realizar una propuesta técnica que apoye el proceso de diseño del laboratorio de televisión digital para el programa de ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Militar Nueva Granada.
- ✓ Elaborar los documentos y guías de prácticas, en donde se describan los procedimientos e información técnica requerida para realizar los experimentos.

1.5. JUSTIFICACIÓN.

1.5.1. ASPECTO TECNICO

La televisión digital es en la actualidad una de las tecnologías que está revolucionando el mundo, debido a las mejoras que presenta en comparación con la televisión análoga. En nuestro país comienza el proceso de transición de televisión análoga a televisión digital. Se tiene estipulado por la Comisión Nacional de Televisión que el apagón analógico se lleve a cabo el 31 de Diciembre de 2019 [13], sin embargo ya se realizan transmisiones de televisión digital en algunos canales privados; aunque aún no hay un acuerdo sobre las especificaciones técnicas para estas transmisiones.

1.5.2. ASPECTO ECONOMICO.

El programa de telecomunicaciones de la Universidad Militar Nueva Granada decidió adquirir nuevos equipos en los que se puedan recrear las diferentes características y funcionalidades de la TDT.

1.5.3. ASPECTO SOCIAL

En Colombia se eligió el estándar europeo DVB-T [13]. La implementación en todo el país de esta tecnología requiere de profesionales capacitados que puedan afrontar los retos y necesidades técnicas que trae consigo este nuevo sistema.

Se pretende que mediante este trabajo de grado, se puedan contar con un material de apoyo y referencia para las diversas actividades de capacitación y prácticas de laboratorio

de algunos de los cursos que hacen parte del programa de ingeniería en Telecomunicaciones.

1.6. ALCANCE

Elaboración de las guías de laboratorio en televisión digital que soportan las asignaturas asignadas al plan de estudios dentro del área de comunicaciones que contribuyen al proceso de formación de los estudiantes del mismo.

1.7. ESTRATEGIA METODOLOGICA.

Para desarrollar este proyecto se llevaran a cabo cinco fases, las cuales darán cumplimiento a cada uno de los objetivos propuestos.

1.7.1. FASE I: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.

En esta fase se realizará la adquisición de información, la cual permita definir antecedentes, variables teóricas incluidas en el proyecto y adquirir un conocimiento mucho más detallado del tema, teniendo en cuenta que toda la información debe ser obtenida de artículos, libros, publicaciones, bases de datos académicas, que permitan establecer un contexto teórico del objeto de investigación.

1.7.2. FASE II: DISEÑO DE GUIAS DE LABORATORIO.

Se realizará una revisión de equipos, donde se determine la funcionalidad de los mismos, para así establecer cuáles serían los procesos de desarrollo para las guías según las características a analizar de acuerdo al contenido programático de las materias afines a esta tecnología. Se pasa por un proceso en donde se realizará una evaluación de dichas guías por parte de personal capacitado.

1.7.3. FASE III: PRUEBAS PILOTO DE LAS PRÁCTICAS PARA EL LABORATORIO.

Se ejecutaran las pruebas de acuerdo a las guías preparadas con anterioridad y se establecerán los sitios dentro del campus de la Universidad que resulten adecuados para el desarrollo de las experiencias de trabajo de campo.

1.7.4. FASE IV: ESTUDIO PROPUESTA DE MEJORAMIENTO LABORATORIO DE TELEVISION DIGITAL.

Se efectuará un estudio de los equipos requeridos para un laboratorio de televisión digital, que puedan complementar las capacidades técnicas de los equipos existentes. Se consideraran las capacidades técnicas de cada equipo y se realizará un presupuesto para su adquisición.

1.7.5. FASE V: DOCUMENTACIÓN.

Se realizará una documentación mediante material fotográfico y de video durante todo el proceso de diseño de cada una de las experiencias de laboratorio. Se elaborará el informe final, se entregarán los documentos de guías definitivas, tanto para el estudiante como para el docente. Finalmente se generará un documento con el presupuesto final donde se incluyen las especificaciones técnicas de los equipos sugeridos para el laboratorio de televisión digital.

2. MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES

Para la realización del proyecto se deben tener en cuenta aspectos teóricos y técnicos para el estudio de esta nueva tecnología. Se debe considerar además, la revisión de investigaciones y experiencias que permitan establecer una serie de antecedentes respecto a las características de laboratorios ya implementados de televisión digital en diversos lugares del mundo.

2.1.1. ANTECEDENTES LOCALES

En el programa de ingeniería en Telecomunicaciones de la Universidad Militar Nueva Granada no se tiene una experiencia previa de trabajos de grado o investigaciones asociadas al desarrollo de experiencias de laboratorios en el tema de Televisión Digital. Si bien el programa adquirió recientemente dos equipos: un medidor de campo (TV EXPLORER HD/HDLE) y un modulador DVB-T (MO-16X) provenientes de la empresa PROMAX, todavía no se han generado prácticas ni experiencias de laboratorio formales con estos dispositivos.

2.1.2. ANTECEDENTES REGIONALES

De acuerdo a una revisión realizada mediante la consulta en las bases de datos de las bibliotecas de las Universidades Colombianas asociadas a la red UNIREN, se encontró que a nivel nacional, en algunas de las entidades, se han desarrollado estudios acerca de la evolución de la televisión digital; logrando algunos avances en cuanto a la dotación de la infraestructura de laboratorios, en los cuales se llevan a cabo experiencias prácticas con esta tecnología. A continuación se relacionan algunos trabajos:

En la universidad de Santander, en el año 2007, en el documento “análisis comparativo de tecnologías para televisión digital en el entorno colombiano”, presentado por Nelly Talero y Diana Correa, plantean un comparativo entre tecnologías que se utilizan a nivel mundial en televisión digital y determinan en su estudio cuál de los estándares es el que más se adapta a las condiciones de Colombia, dando como resultado el sistema el DVB-T. [1], Estándar que más tarde fuera el escogido en el País.

En Radio Televisión Nacional de Colombia (RTVC) a partir de Marzo de 2010 cuentan con un laboratorio de pruebas para la TDT. En este se llevan a cabo simulaciones de cadena de compresión, transmisión y recepción de la señal de TDT. RTVC cuenta con personal capacitado en TDT, además de ello desarrollan aplicaciones interactivas para darle un valor agregado a este recurso. [2]

En la Universidad de los Andes en la tesis “Simulación y validación de sistema DBV-T con Diversidad de Antena por STBC” de Sebastián Velásquez Suárez, se plantea la validación del sistema DVB-T en Matlab con la utilización de la herramienta Simulink. Adicional a ello, se implementa una estructura general de módulo de diversidad de antena, con ello hace una simulación de un elemento el cual no viene incluido en el estándar DVB-T con el fin de ver las mejoras que trae el sistema en cuanto a la calidad de servicio con el código Almounti a través de la codificación por bloques STBC. [3]

2.1.3. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

A continuación se nombran algunos de los estudios y laboratorios que ya han sido implementados en diferentes partes del mundo y que se encuentran funcionando actualmente:

En la Universidad Politécnica de Madrid de donde se desprende la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, se ha desarrollado un laboratorio de televisión digital en el que se llevan a cabo prácticas con receptores, transmisores de TV, incluyendo medidas de señales de TV digital, las cuales son generadas en el mismo laboratorio y recibidas por medio satelital y terrestre. Se incluye la integración de transmisores COFDM, medidores de campo, analizadores de espectro digital, decodificador para señales DBV-T y analizadores de tramas de MPEG de última generación. [4]

En el año 2003 en República Checa, fue inaugurado un laboratorio de televisión digital en el Institute of Radio Electronics FECC BTU Bmo. El cual tiene cómo estructura básica un conjunto de instrumentos de medición, que hace posible que los estudiantes conozcan las características de señales digitales y los diferentes sistemas para el estándar DVB. [5]

Digital TV LABS ubicada en el Reino Unido, es una empresa dedicada a hacer pruebas de TV digital en Europa, la cual ofrece servicios especializados para reducir al mínimo tasas de retorno para los diferentes receptores. La corporación hace uso de Evora iSuite DVB un programa donde se realizan una serie de prácticas especializadas en equipos de RF y pruebas sofisticadas en campo abierto, además cuenta con dos vehículos dedicados a monitoreo de la red en cuanto DBV-T, DBV-C, DBV-S. [6]

La Escuela Politécnica del Ejército en Ecuador en el año 2009, realizó un estudio teórico sobre los modelos y estándares de televisión digital y propone un prototipo de laboratorio de televisión digital con canal de retorno, basado en el estándar DVB-C, donde se

identifican los principales componentes que debe tener un sistema de televisión digital. [7]

Los antecedentes mencionados permiten conocer algunas de las experiencias tanto a nivel local, nacional e internacional tanto en estudios, como en investigaciones realizadas en un tema de mucha vigencia en la actualidad, como lo es la Televisión Digital, experiencias que aportan al desarrollo de los experimentos y prácticas planteadas con el proyecto.

2.2. MARCO CONCEPTUAL.

2.2.1. TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE

Cuando se habla de televisión digital terrestre se hace referencia a la transformación de los sistemas analógicos, que se han presentado en las últimas décadas a lo que se refiere con el sector de las telecomunicaciones, permitiendo mejoras importante en calidad, inclusión de muchos más servicios en un mismo canal digital, entre otras ventajas.

Desde la incursión del televisor en la década de los setentas se ha venido evolucionando en la forma de ver televisión, que sin lugar a dudas es el medio de comunicación con mayor difusión de éxito. Después de la introducción del color en estos aparatos que fue un gran acontecimiento, ahora se habla de la aparición de la Televisión Digital Terrestre (TDT).

A la digitalización de la televisión satelital y cableada se suma ahora la TDT que llegara a los usuarios con una calidad inimaginable, con la opción de recibir muchos más servicios y además se suma a esta la interactividad [8].

2.2.2. ESTÁNDARES TDT

2.2.2.1. ATSC Advance Television System Committee

Es una organización sin ánimo de lucro que fue creada en el año de 1982 para la estandarización de soluciones tecnológicas que respecta la TV Digital Terrestre, que inicialmente fueron requeridas por los radiodifusores de TV abierta, libre y gratuita del mercado de los Estados Unidos y que posteriormente fue extendida hasta Canadá, México, Corea del Sur, Honduras y a otros países que están deseosos de mantener un modelo de servicio de TV Digital Terrestre abierta.

El estándar ATSC fue creado principalmente para la TV libre y gratuita, en donde se utiliza el mismo ancho de banda (6 MHz) que se utilizaba en la TV Análoga, todo ello con el fin de brindar al usuario final una calidad de señal en HD con multiprogramación, comunicación interactiva entre otras características.

Este Estándar se creó para reemplazar el sistema de televisión analógica NTSC [9].

2.2.2.2. DTMB Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting

El Gobierno Chino fundó en 1994 el grupo Expertos Ejecutivos Técnicos de Televisión de Alta Definición (TEEG), donde sus miembros son seleccionados de universidades e institutos de investigación que trabajan con el desarrollo de televisión digital. Alrededor de 1999 y tras años de estudio y esfuerzo, el grupo desarrolló la primera transmisión de alta definición de tipo prototipo (DTTB) y fue para el cincuentavo aniversario del Día Nacional en China.

En 2001 china realizó un llamado para la estandarización de la televisión digital entre los que se encontraban, DMBT (Digital Multimedia Broadcasting Terrestrial), ADBT (Advanced Digital Television Broadcasting Terrestrial) y TIMI (Terrestrial Interactive Multirervice Infrastructure).

La norma fue definida finalmente en 2006 como DTMB y recibió la aprobación de la República Popular de China en Agosto de 2007. Comenzaron sus primeras transmisiones en Hong Kung el 31 de Diciembre de 2007. Todo ello estuvo a cargo de la Universidad de Jiaotong en Shanghai y la Universidad Tsinghua en Beijing, donde describieron el sistema como la fusión de varias tecnologías que incluyen las derivaciones de la norteamericana ATSC y la europea DVB-T [9].

2.2.2.3. DVB-T Digital Video Broadcasting Terrestrial

Este sistema nace de una gran alianza entre más de 280 compañías de difusión, fabricantes, operadores de red, desarrolladores de software, entidades reguladoras y entre otras instituciones en más de 35 países que están comprometidos con el diseño de estándares a nivel mundial, el suministro de televisión digital y servicios de datos. DVB es uno de los estándares más completos ya que abarca los aspectos de difusión y los estandariza, desde las transmisiones hasta las interfaces, el acceso condicional y la interactividad del video, audio y datos.

Los estándares que propuso este sistema han sido aceptados en Europa y casi todos los continentes. Este sistema se basa en el estándar MPEG en donde se cubren aspectos y metodologías que se utilizan en la compresión de las señales de audio, video y datos y en los procedimientos de multiplicación y sincronización de estas señales en tramas de transporte. Pero también es necesario la definición del sistema de modulación de la señal que es utilizada en los distintos tipos de radiodifusión: DVB-C (Cable), DVB-S (Satélite) y DVB.T (Terrestre).

Actualmente, el estudio e implementación de este sistema ya están consolidados, y sus especificaciones dan lugar a productos que se están fabricando y usando en el mundo entero [9].

2.2.2.4. ISDB-T Integrated Service Digital Broadcasting

El sistema fue desarrollado en Japón donde actualmente está en operación además de la adopción en Brasil entre otros países. Es promovido por Digital Broadcasting Experts Group (DIGEB) de Japón, grupo que fue creado en 1997 conformado por los principales operadores y fabricantes que trabajan en el medio de radiodifusión con el fin de promover el sistema por todo el mundo.

El ISDB se empezó a desarrollar en 1980, pero finalmente fue estandarizado en los años 90. Al igual que el sistema europeo este sistema de radiodifusión de video digital está definido por ISDB-S (Satélite), ISDB-C (Cable) e ISDB-T (Terrestre) que hace la inclusión de canales móviles. Fue diseñado bajo la norma MPEG-2 y específica para su transmisión la resolución estándar en modo multiplexado y de alta definición (HDTV).

El servicio de DTTB¹ se inició en Japón en Diciembre de 2003 y gracias a sus nuevos servicios como "One-Seg", que es el servicio de recepción portátil en el mismo canal de transmisión muestra un gran avance tecnológico en cuanto a la forma de ver televisión [9].

2.2.2.5. SBTVD-T Sistema Brasileño de Televisión Digital Terrestre

En Brasil, han implementado su propio sistema de televisión digital, pues se hizo un llamado a las universidades e investigadores para pensar en el desarrollo de proyectos de TV digital, así como para el estudio de los sistemas actuales. Entre 2004 y 2006 se discutió el estándar que sería adoptado por el país con una variable que fuese un sistema con características brasileñas.

El sistema elegido de TDT en 2006 es una mezcla de las tecnologías japonesas como lo es el ISDB-T y la tecnología brasileña, básicamente la diferencia radica en que el estándar SBTVD-T utiliza el códec de video H.264/MPEG-4 en ves del MPEG-2 usado por los japoneses.

El inicio de las transmisiones de TV Digital tiene su inicio en la ciudad de Sao Paulo y ahora se hace la extensión a las demás capitales y principales ciudades, hasta lograr un cubrimiento del 100% en el país [10].

¹DTTB Digital Terrestrial Television Broadcasting (Difusión de Televisión Digital Terrestre)

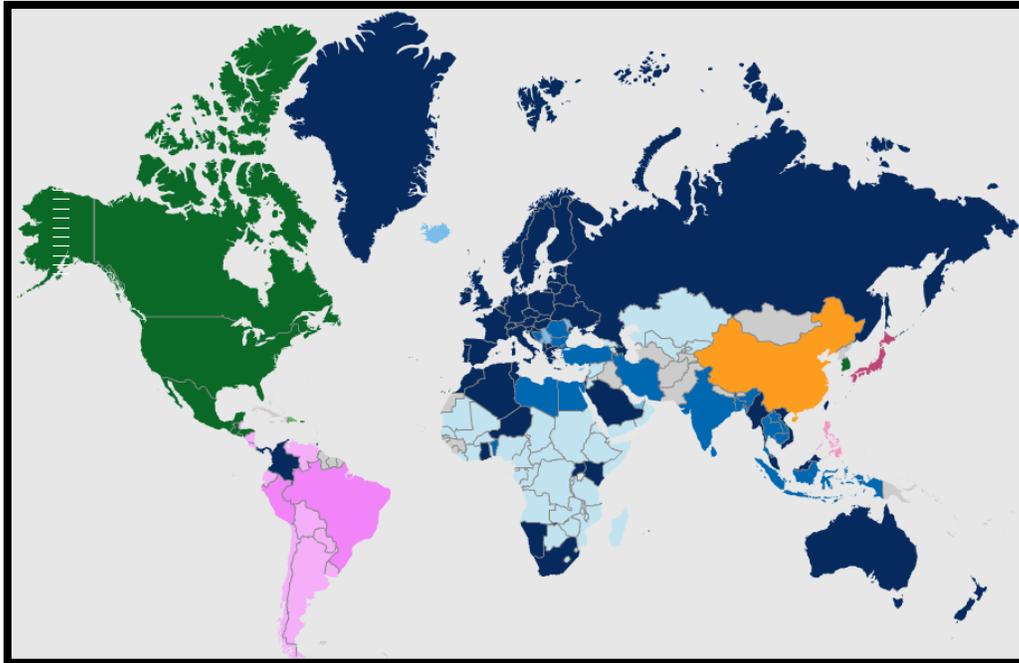


Figura 1². Difusión de los estándares de televisión digital en el mundo.

DVB-T	DVB-T Adoptado	DVB-T En Prueba	RRC06
ATSC	ATSC Adoptado	ATSC En Prueba	ISDB-T
ISDB-T Adoptado	ISDB-T En Prueba	SBTVD-T	SBTVD-T Adoptado
DMB-T/H	DMB-T/H En Adoptado	DMB-T/H En Prueba	No se han decidido

Tabla 1. Difusión de los estándares de televisión digital en el mundo

2.3. MARCO REFERENCIAL

2.3.1. Convenciones Estado del Sistema

DVB-T	La Transmisión mediante DVB-T ya se ha puesto en práctica
DVB-T Adoptado	Países que se han decidido por el sistema DVB-T
DVB-T En Prueba	En estos países, el estándar DVB-T está en periodo de prueba
RRC06	Los países señalados participaron en la Conferencia Regional de Radiocomunicaciones 2006 de la ITU. Se presupone que todos los países participantes se dedicarán por el sistema DVB-T cuando pasen de la transmisión analógica de la televisión digital
ATSC	La transmisión mediante sistema ATSC ya se ha puesto en práctica
ATSC Adoptado	Países que se han decidido por el sistema ATC

² Imagen tomado de DTV Status disponible en <http://es.dtvstatus.net/> Septiembre de 2011.

ATSC En Prueba	En estos países, el estándar ATSC está en periodo de prueba
ISDB-T	La transmisión mediante ISDB-T ya se ha puesto en práctica
ISDB-T Adoptado	Países que se han decidido por el sistema ISDB-T
ISDB-T En Prueba	En estos países, el estándar ISDB-T está en periodo de prueba
SBTVD-T	La transmisión mediante sistema SBTVD-T ya se ha puesto en práctica
SBTVD-T Adoptado	Países que se han decidido por el sistema SBTVD-T
DMB-T/H	La transmisión mediante DMB-T/H está en periodo de prueba
DMB-T/H En Adoptado	Países que se han decidido por el sistema DMB-T/H
DMB-T/H En Prueba	En estos países, el estándar DMB-T/H está en periodo de prueba
No se Han decidido	Países que aún no se han decidido

Tabla 2 Convenciones del sistema.

2.3.2. EL APAGÓN ANALÓGICO A NIVEL MUNDIAL

A continuación se observa en tabla 2 en la cual se describe la situación en cuanto a la adopción de los sistemas en América del Sur, con sus respectivas fechas en las que cada país empezó la conversión al sistema digital y el fin de la televisión analógica.

Para ver tabla completa del estado a nivel mundial referirse al (**Anexo A** Tabla 3).

2.3.2.1. América del Sur 1 5

Estados/Territorios	Estándar	Estado del Sistema	Inicio	Fin
Colombia	DVB-T	En Práctica	2010	2017-2020
Brasil	SBTVD-T	En Práctica	2007	2016
Perú	SBTVD-T	En Práctica	2010	2023
Argentina	SBTVD-T	Adoptado	-	2019
Bolivia	SBTVD-T	Adoptado	2012	2024
Chile	SBTVD-T	Adoptado	2010	2017
Ecuador	SBTVD-T	Adoptado	-	-
Paraguay	SBTVD-T	Adoptado	2012	-
Uruguay	SBTVD-T	Adoptado	2011	2014-2015
Venezuela	SBTVD-T	Adoptado	-	2018
Georgias del Sur y las Islas Sandwich del Sur	-	No se han decidido	-	-
Guayana Francesa	-	No se han decidido	-	-
Guayana	-	No se han decidido	-	-

Islas Malvinas	-	No se han decidido	-	-
Surinam	-	No se han decidido	-	-

Tabla 3 Estandarización y Apagón Analógico en América del Sur³

Sistema	Número de Países	Porcentaje
DVB-T	66	28,69%
DVB-T Adoptado	15	6,52%
DVB-T En Prueba	7	3,04%
RRC06	48	20,86%
ATSC	8	3,47%
ATSC Adoptado	1	0,43%
ATSC En Prueba	0	0%
ISDB-T	1	0,43%
ISDB-T Adoptado	1	0,43%
ISDB-T En Prueba	0	0%
SBTVD-T	2	0,86%
SBTVD-T Adoptado	10	4,34%
DMB-T/H	2	0,86%
DMB-T/H En Adoptado	1	0,43%
DMB-T/H En Prueba	0	0%
No se Han decidido	68	29,56%
Total	230	100%

Tabla 4 Estadísticas de los sistemas en el mundo.

Se ve claramente a través de la tabla 2 que en un 59,11% los países han optado por el sistema europeo DVB-T aunque los que se encuentran en **RRC06** no se han decidido es de esperar que lo hagan por esta norma. Luego se observa que un 5,2% se ha decidido por el sistema SBTVD-T que es una mezcla entre el japonés e ingeniería del Brasil. Posteriormente el sistema ATSC es acogido en un 3,9% que en general está presente en Norte América, Centro América y Corea del Sur. El sistema DMB-T/H solo está en 3 países con un 1,23%. Finalmente el sistema ISDB-T solo ha sido implementado en Japón y está en proceso de desarrollo en Filipinas para un 0,86%.

Esta tabla da cabida a analizar que COLOMBIA es el único país en América del Sur que se ha decidido por el sistema DVB-T y que es uno de los más avanzados en el proceso de implementación del mismo, guardando las proporciones de territorio y población.

³ Tabla tomado de DTV Status disponible en <http://es.dtvstatus.net/> Septiembre de 2011.

2.3.3. SISTEMA GENERAL DVB-T

En la norma DVB-T se especifican las propiedades de la capa física para la transmisión terrestre de video audio digital que está descrita en el estándar [12]. En la Figura 1 se visualiza un diagrama general del sistema, en la cual se describe claramente el proceso de transmisión y recepción y las diferentes etapas de la señal para poder ser transmitida en TDT.

Como primera medida se tiene la fuente de video la que posteriormente pasa por un proceso de conversión de señal análoga a digital para luego codificarla generalmente en MPEG-2 que se multiplexa y codificada para poder ser modulada en OFDM y ser transportada a través del canal, finalmente es recibida para pasar por un procedimiento contrario al de transmisión con el fin de recibir una señal de gran calidad.

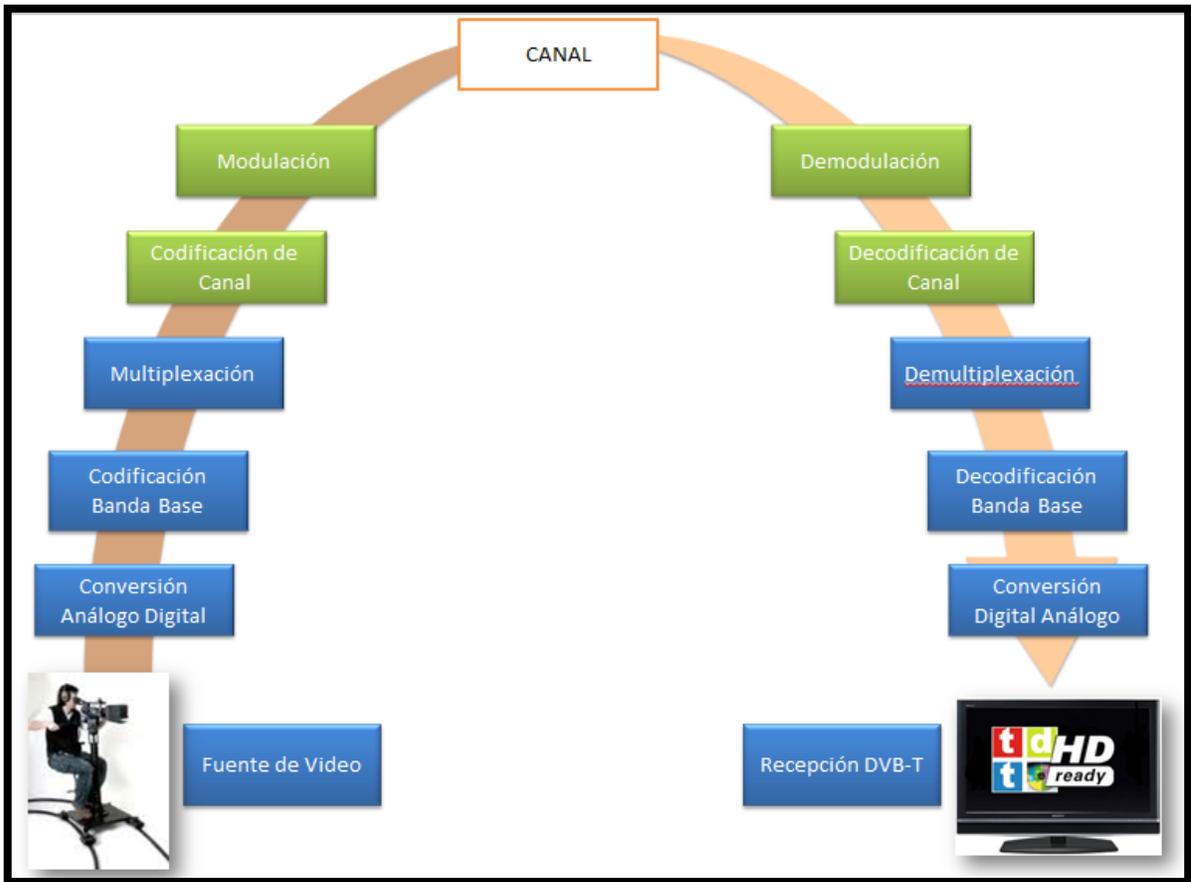


Figura 2. Diagrama General del Sistema DVB-T

2.3.4. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DVB-T

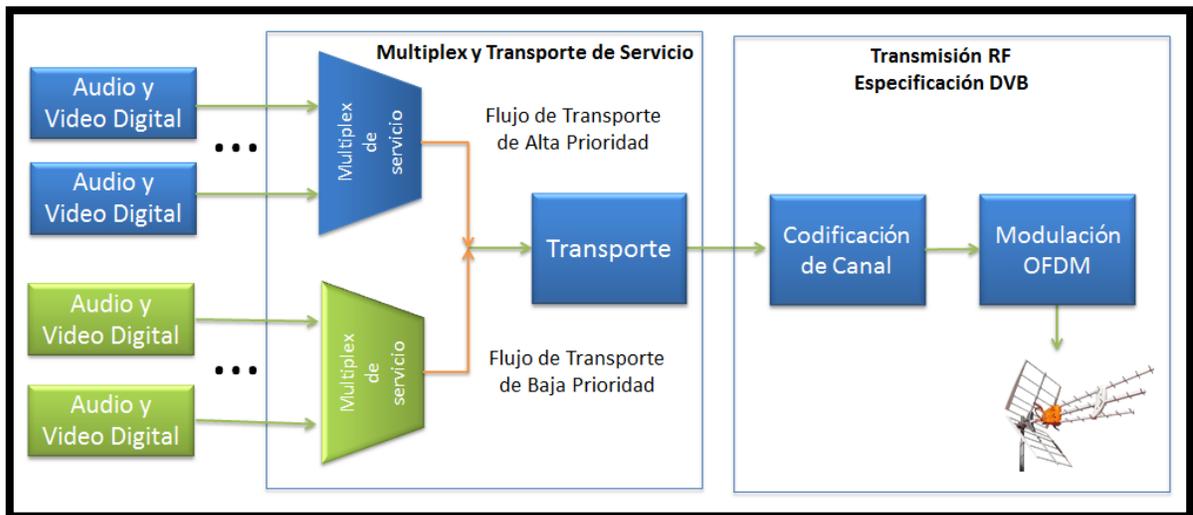


Figura 3. Diagrama General del Sistema DVB-T.

Como primera medida, las señales de video y audio que están comprimidas y codificadas bajo la norma MPEG-2 [13-15], con una sintaxis que esta especificada por las norma ETSI para DVB [16-17]. Esto asegura que el sistema DVB es compatible con medios de almacenamiento de contenidos existentes y futuros, como DVD, DVC, D-VHS, entre otros. Con ello se identifican los requerimientos que los flujos de datos satisfacen ciertas condiciones como las tasas de datos máximas para señales de audio digital.

Con todo esto se puede garantizar que varios programas de (video, audio y datos) codificados y comprimidos con MPEG-2 sean multiplexados en un único flujo de transporte MPEG-2 permitiendo que el canal sea compartido para así distribuir programación múltiple simultáneamente.

El sistema DVB-T permite el transporte en una sola transmisión digital hasta de dos flujos que se combinan jerárquicamente, son denominados uno de alta prioridad (AP) y otro de baja prioridad (BP), este último se muestra de color verde en la Figura 3. El flujo AP requiere de una menor relación señal a ruido (SNR) para ser codificado que el BP, así el AP podría portar señales en definición estándar (SD) con una codificación de canal de alta redundancia, haciendo posible que a una distancia lejana pueda ser decodificada donde la SNR es baja. En cambio el flujo BP podría portar la misma programación pero ésta en alta definición (HD) utilizando para esta una codificación de alta tasa pero de poca redundancia, que sería decodificada a distancias pequeñas con una SNR alta. Se destaca que el receptor es libre de escoger entre los dos flujos y que ambos podrán ser usados para transmitir programación completamente distinta.

El sistema de Transmisión RF que se observa en la Figura 3, la codificación de canal aplica a la señal una serie de procesos con el fin de proteger los flujos de transporte de los

efectos de las diversas fuentes de ruido e interferencias que se presentan en las transmisiones. Las normas DVB-S, DVB-C y DVB-T utilizan el mismo sistema de codificación, que permite aprovechar económicamente el desarrollo de equipos y así llegar al consumidor con productos de costos más bajos.

El bloque de modulación OFDM permite la generación de señales de radiofrecuencia que son transmitidas por radio a partir de los datos provenientes por el codificador de canal. En DVB-T se usa modulación OFDM con constelación QAM de las subportadoras. [18]

2.3.5. CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE

2.3.5.1. Características del Video

En el estándar se usan tres tipos básicos de resolución de pantalla, el nivel más sencillo es en el que se incluyen los formatos básicos y más conocidos y que se extienden de la norma de TV analógica el NTSC y PAL, con 480 y 576 líneas visibles, respectivamente Figura 4. Y hasta 720 pixeles por línea. Para en nivel medio se incluye imágenes con una resolución de 720 líneas y 960 pixeles por línea (aspecto 4:3 tradicional) y 1280 pixeles por línea (aspecto 16:9 pantalla extendida). Finalmente el nivel 3 o mayor tiene una resolución de 1080 líneas para 1440 y 1920 pixeles por línea para los aspectos mencionados anteriormente.

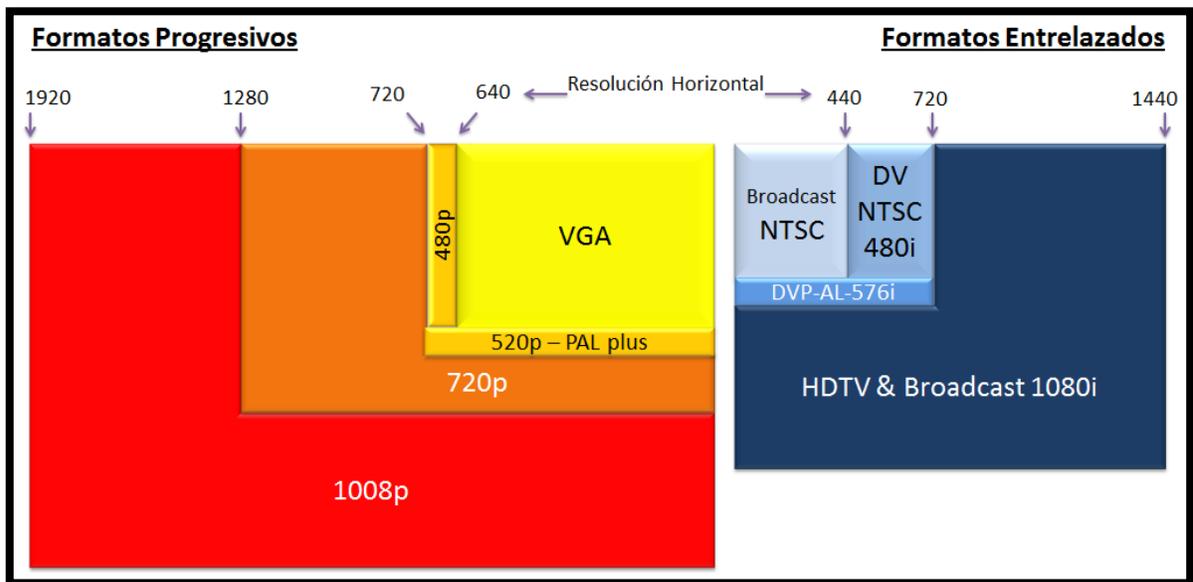


Figura 4. Comparación entre resoluciones de video.

En la Tabla 5 se observan los formatos según su resolución, forma de barrido progresivo (P) o entrelazado (I) y tasa de cuadros por segundo. Estas resoluciones operan bajo anchos de banda de 6, 7 y 8 MHz [18].

Líneas Verticales	Píxeles por Línea	Razón de Aspecto	Frecuencia de Tramas
1080	1920	16:9	SOP (HDTV)
1080	1920, 1440	19:9, 4:3	25I, 25P (HDTV)
720	1280	19:9, 4:3	25P, 50P (HDTV)
1080	1920, 1440	19:9, 4:3	60I, 30P, 24P (SDTV)
720	1280, 960	19:9, 4:3	60P, 30P, 24P (SDTV)
576	720, 704, 544, 480,325	19:9, 4:3	25I, 25P (SDTV)
480	720, 704, 544, 480,325	19:9, 4:3	60P, 60I, 30P, 24P (SDTV)
288	325	19:9, 4:3	25P (SDTV)
240	325	19:9, 4:3	24P, 30P (SDTV)

Tabla 5. Resoluciones de Pantalla.

2.3.5.2. Características del Audio

Una señal de audio no es más que una onda acústica que oscila en el rango de frecuencias entre 20 Hz y 20 KHz, la relación entre dos sonidos se mide en decibelios (dB). El audio analógico, es continuo tal y como lo es el sonido real, este varía en forma ininterrumpida y continua. Cualquier segmento que se analiza se puede dividir en fragmentos más pequeños y así hasta el infinito. Se considera al sonido como un continuo infinitamente divisible, donde cada uno de los puntos infinitamente pequeños contienen un valor diferente.

Es bien sabido que las computadoras son incapaces de manejar este tipo de información. Estas trabajan valores que son finitos, y que se ubican dentro de rangos preestablecidos. En el sonido se desarrolla un pasaje de digitalización que se realiza por el método de **muestreo** que consiste en la toma de periodos de tiempo determinados que se denominan muestras de valor analógico del sonido. Estas muestras producen réplicas en la curva analógica como se observa en la Figura 5. Mientras más muestras sean tomadas, más se va a parecer la curva analógica a la obtenida en el muestreo. O en otras palabras mientras menor sea el tiempo que separa las tomas de muestras, mayor fidelidad del registro [19].

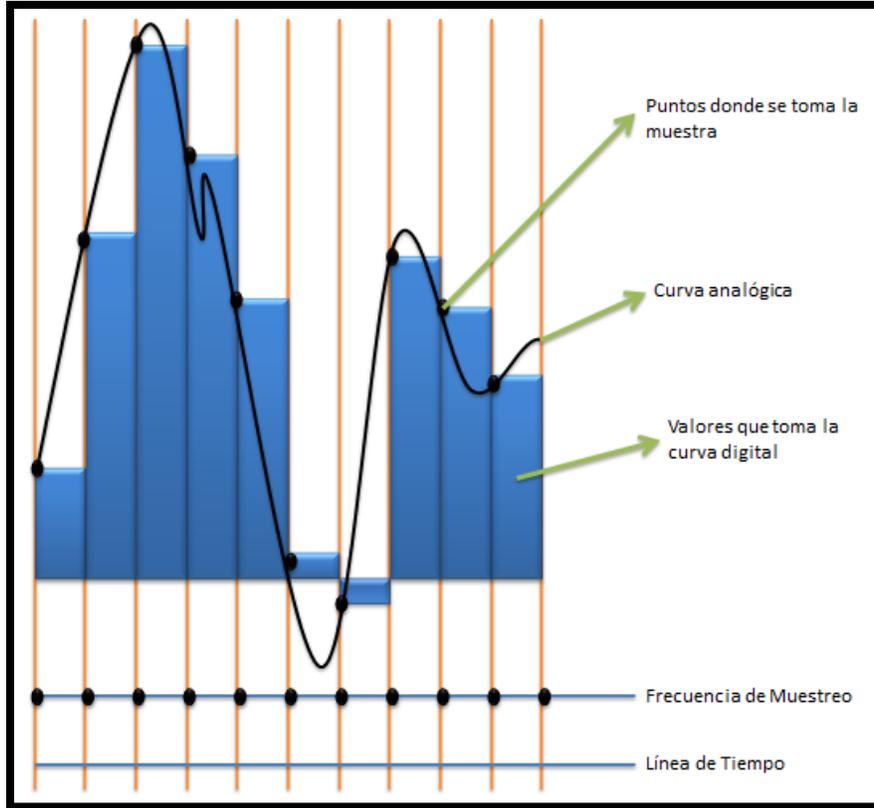


Figura 5. Muestras del valor analógica de la una señal.

2.3.6. COMPRESIÓN MPEG-2

Es necesario que las señales pasen por un proceso en el cual se reduzca la tasa de bits pero que a su vez no exista una pérdida de la calidad de la señal cuando esta es transmitida. Este proceso está definido por dos etapas que se observan en la figura 6.

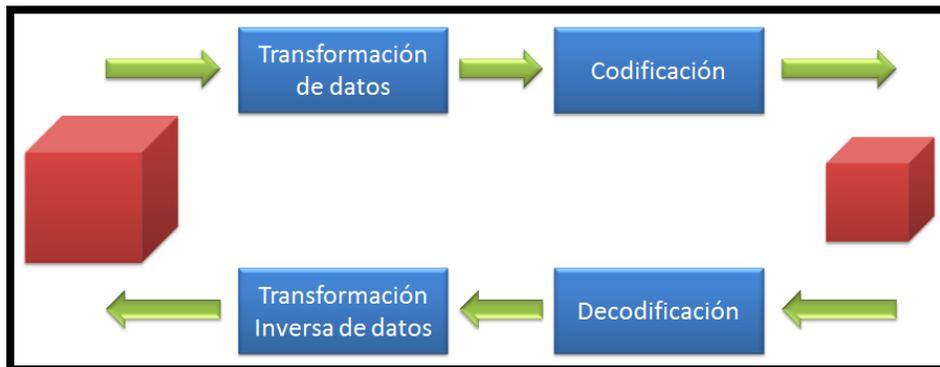


Figura 6. Proceso general de compresión y descompresión de la información.

En el proceso transformación de datos es evidente que resulte una redundancia de los datos originales, por ende es necesario que dicha información pueda ser recuperada y que

sea muy semejante a la original ya que sin duda alguna en un método de compresión puede llevar a pérdida de información.

Por lo anterior hay que tener en cuenta que no importa lo complejo que puedan llegar a ser dichas transformaciones, lo importante es que se dispongan de métodos que permitan el restablecimiento de la señal codificada al dominio original.

Ahora bien hay que tener en cuenta que el proceso de compresión como tal puede dar lugar a dos métodos los cuales son *Lossy* con pérdidas o *Lossless* sin pérdidas esto depende de si la información recuperada es una aproximación de la original o si es igual a esta. En aplicaciones informáticas es necesario que se maneje un sistema sin pérdidas, ya que el flujo de información es binario y resulta indispensable recuperar la información original.

Para señales de audio y video resulta más habitual la inclusión de compresión con pérdidas, obviamente esperando que la información recuperada sea aceptable. Este método de compresión se sustenta en que las componentes de información que no son observables por los sistemas de percepción humano no son necesarias codificarlas. [20]

2.3.7. JPEG

Para el entendimiento amplio de la compresión MPEG es necesario hablar un poco acerca de la compresión de imágenes estacionarias JPEG, la cual descompone la imagen en bloques de 8x8 píxeles, y gracias a la redundancia que se encuentran en los píxeles vecinos definen una reducción notable en el volumen de datos sin mayor pérdida de calidad en la imagen.

El objetivo básico para este sistema de compresión es representar la información en cada bloque de forma que se use la menor cantidad de datos posible. Para ello se transforman los valores de los bloques de 8x8, mediante la *transformada de coseno discreta* (DCT), en un conjunto nuevo de coeficientes con un menor grado de correlación entre ellos.

La compresión se obtiene de la eliminación de coeficientes que son pequeños y el empleo de una *cuantificación perceptual*, de forma que los coeficientes que no son importantes en cuanto a percepción humana son cuantificados a una precisión menor, hay que tener en cuenta que la redundancia sea suficientemente abundante para que el usuario final no note la diferencia ya que en el proceso se pierde información en cada bloque.

Luego de la implementación de estos procesos los 64 coeficientes del bloque se leen en zigzag para transformar la matriz en un flujo de datos en serie.

Con el fin de obtener un máximo provecho de las series de coeficientes repetidos y nulos, proporcionado por la lectura y cuantificación en zigzag, se procede con la codificación del

coeficiente y el número de ocurrencias, se emplea una codificación *valor repetición* (RLC⁴) y generando una reducción considerable en el número de datos.

Finalmente se hace un análisis estadístico en donde se codifican los coeficientes con una *longitud variable* (VLC⁵) o codificación de Huffman, de manera que los coeficientes que son más frecuentes se asocian a un código más corto y los que son menos frecuentes a un código más largo, con el que se consigue una reducción adicional al *bitrate*.

El formato JPEG constituye la base para la codificación de una secuencia de imágenes en los estándares H.261, H.263, MPEG-1 y MPEG-2.

2.3.8. MPEG-1

Es un sistema de codificación que se basa en los principios de JPEG, pero que obtiene otros factores de compresión en la redundancia temporal que existe entre las imágenes sucesivas.

En MPEG-1 se descompone cada imagen en bloques de 8x8 píxeles para el estudio de redundancia espacial y de 16x16 píxeles para el estudio de redundancia temporal.

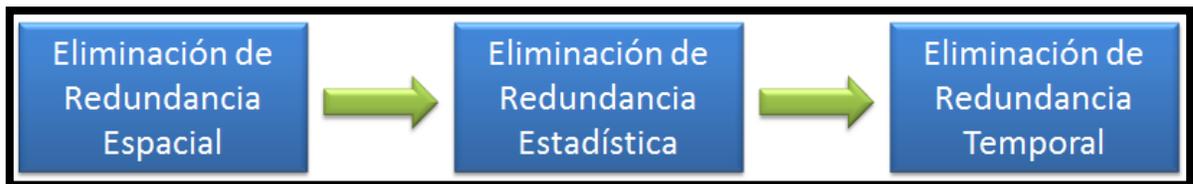


Figura 7. Proceso general del sistema MPEG-1.

2.3.9. Eliminación de la Redundancia Espacial

DCT. Para la eliminación de la redundancia espacial hay un concepto clave que es la aplicación de la transformada cosenoidal discreta (DCT).

Antes del proceso de DCT se representa el brillo de cada pixel en el bloque de 8x8.

El proceso básicamente consiste en examinar las componentes en frecuencia espacial del bloque, para ello se hace la transformación de la matriz en el dominio temporal a una de dominio frecuencial. Todo comienza con la creación de un nuevo conjunto de coeficientes de una matriz de 8x8, esta comienza por la celda superior izquierda, que representa la componente continua, es decir, la componente de la frecuencia de 0 Hz.

⁴ RLC: Run Length Coding

⁵ VLC: Código de Longitud Variable

En la figura 8 se observa el proceso de la DCT, la matriz del lado derecho está representada por los coeficientes de brillo medio del bloque, y cada una de las demás celdas representa los coeficientes que determinan la cantidad de detalle de imagen dentro del bloque. Por ejemplo un bloque que contiene en todo él idéntica luminancia o crominancia (un cielo claro), estará representada solo por una componente continua; los demás coeficientes se hacen cero. Pero para un caso donde un bloque contiene un detalle de imagen, los coeficientes adoptaran un valor diferente de cero. El valor más alto de detalle es decir la frecuencia de video más alta, se representa por la celda inferior derecha de la matriz.

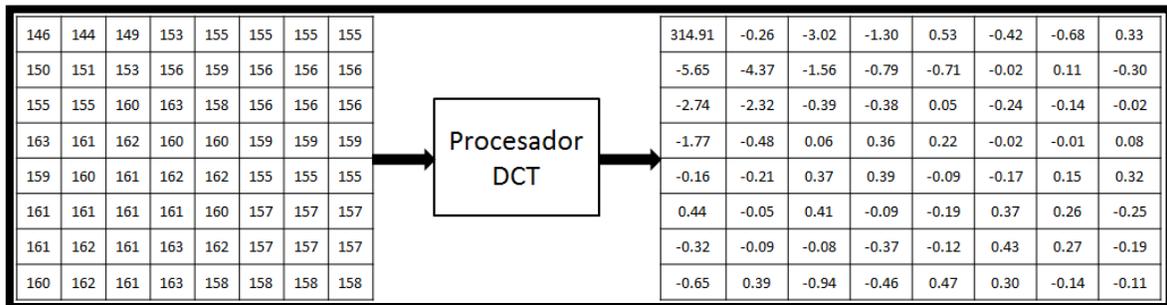


Figura 8. Proceso DCT.

Partiendo del resultado del proceso de DCT como se ilustra en la figura 8, la mayoría de los coeficientes están agrupados o concentrados en la esquina superior izquierda, por lo contrario en la parte inferior derecha se observan los coeficientes tendiendo a cero. Esto es obvio ya que para un bloque de 8x8 píxeles no es probable que tenga detalles de imagen diferentes. Entonces los coeficientes son redondeados a la cifra por debajo o por arriba, que da como resultado un conjunto de coeficientes muy simplificados, tal y como se observa en la figura 9.

315	2	-1	-2	0	0	0	0
-4	-3	-2	1	0	0	0	0
-2	-3	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 9. Bloque DCT ascendente y descendente redondeado.

Exploración en zigzag de la matriz DCT. Después del proceso de cuantificación, la matriz DCT de cada bloque es reunida para formar un nuevo formato en serie. Para optimizar los ceros consecutivos estos son ordenados en secuencias como se ve en la figura 10.

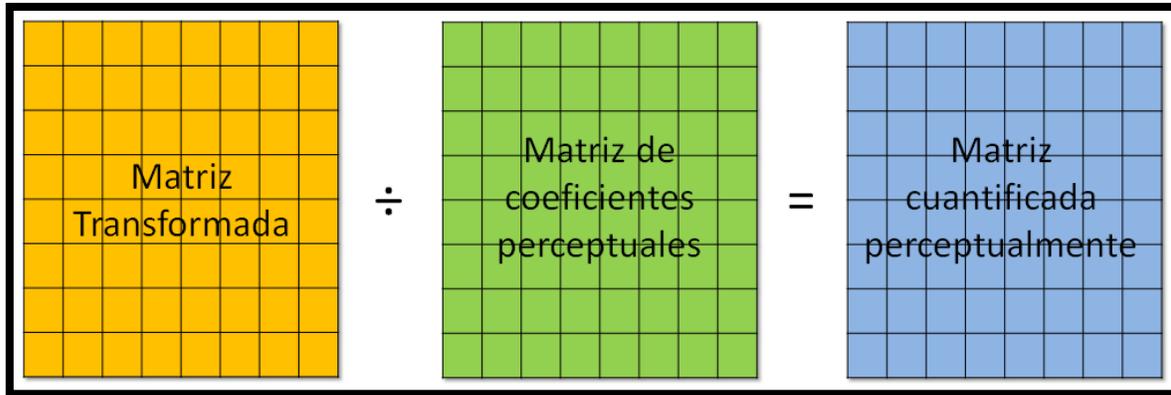


Figura 11. Proceso de Cuantificación.

Regulación del Flujo; Cuantificación Variable. En el caso de que la imagen tenga poco detalle, la mayoría de los coeficientes obtenidos en la DCT serán cero, generando una corta cadena de coeficientes, esto quiere decir que la tasa de bits será baja.

Pero por el contrario si se presenta una bloque con una imagen que posee detalles altamente definidos se presentara una cadena larga de coeficientes, requiriendo una tasa de bits más alta que puede quedar fuera de los límites especificados.

Para no salir de este límite, se actúa sobre la tasa de bits con la que se codifica la secuencia de video, reduciendo el tiempo de precisión de la cuantificación en función de la velocidad de transferencia de bits que procede del procesador DCT. Esto incide en la calidad de la secuencia, pero si se incrementa el caudal binario, aumentara la precisión de cuantificación, de forma que la degradación de la imagen es menor.

2.3.9.1. Eliminación de Redundancia Estadística: Codificación RLC y Codificación de Longitud Variable (VLC)

Mediante la codificación *valor repetición* (RLC) y la codificación de *longitud variable* (VLC), puede reducir el número de bits que es requerido para cada coeficiente espectral.

El primer método (RLC) extrae el máximo e las series de coeficientes que se repiten, que son proporcionados por el cuantificador y la lectura en zigzag, sustituyendo a las cadenas con el mismo coeficiente, un ejemplo de esto es una serie de: 3, 3, 3, 3, 3, 3 por el cociente y número de ocurrencias 3,6 es decir el número 3 repetido 6 veces, reduciendo así el número de datos que se transmiten. El método (VLC) se basa en probabilidades que un coeficiente espectral codificado aparezca sobre n bits entre los 2^n posibles no es igual para todos los coeficientes espectrales, entonces lo que se hace es que se codifican con menos bits los coeficientes espectrales de aparición menos frecuente y con más bits los coeficientes espectrales más frecuentes, con el fin de obtener una longitud media inferior a la longitud fija, lo que me permite una reducción del flujo.

El método de codificación Huffman es el más empleado para la codificación de longitud variable. Mediante la combinación de los dos métodos se llega a obtener un factor adicional de compresión entre 2 y 3.

2.3.9.2. *Eliminación de la Redundancia Temporal: Estimación de Movimiento*

Es fundamental para esta eliminación el hecho que en una escena la mayoría de los objetos y elementos permanecen en la misma posición y con las mismas características de una imagen a otra, de forma tal que se puede aprovechar la información de la imagen anterior.

Para el proceso de reducción de la redundancia temporal, que se efectúa sobre un *grupo de 12 imágenes* (GOP), básicamente lo que se busca es que en los bloques de 16x16 de una imagen, buscar otro bloque que contenga características similares en imágenes anteriores y futuras por lo que en este proceso se presentará cierto retardo. Este proceso se denomina *estimación de movimiento*. La imagen recreada a partir de una imagen de referencia, mediante la aplicación de este método se denomina imagen compensada.

En la figura 12 se ve que la mayor parte de diferencias entre las imágenes se debe a un movimiento de la cámara, por lo que podrían reducirse con un ligero desplazamiento relativo entre ellos. En general, esta codificación presenta problemas cuando se producen desplazamientos de los objetos dentro de la imagen o la aparición de nuevos motivos que pueden ser debidos a movimientos de cámaras, cambio de ángulo o zoom, el desplazamiento real de dichos objetos u simplemente cambios en el plano.

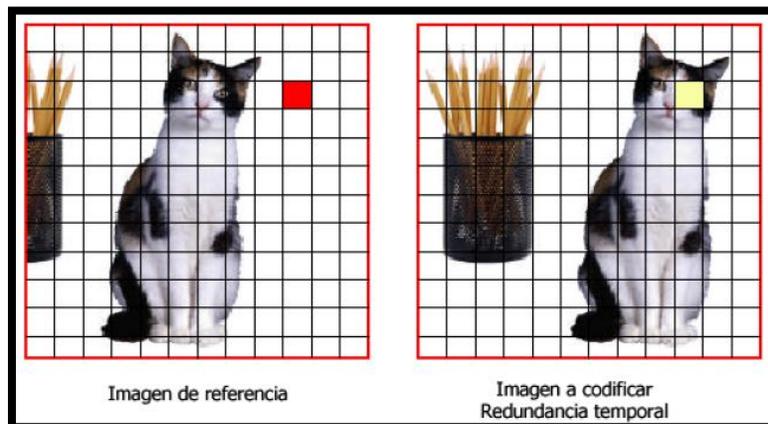


Figura 12. Ejemplo de bloques utilizados para realizar la predicción en una codificación diferencial.

En figura 12 se ve un bloque rojo que se utiliza para predecir el bloque de interés amarillo, todo ello mediante una codificación diferencial, pero existe un problema ya que la predicción es igual en este caso a la imagen que desea predecirse, por lo tanto la ganancia de codificador es nula, por lo tanto no resultaría necesario volver a codificar el bloque, lo

único que debería hacerse es transmitir el vector de desplazamiento que tiene que utilizarse en la imagen de referencia para construir este fragmento de imagen.

Básicamente para la figura 12, el codificador al encontrar el bloque que es similar en la imagen anterior almacena su posición empleando un vector, que para este caso sería (-3,0) el cual indica un corrimiento de tres posiciones hacia la izquierda (del bloque rojo al amarillo) y ninguno en el sentido vertical. A este movimiento se le denomina *vector de movimiento*.

Estos vectores de movimiento son almacenados para cada bloque de imagen a imagen, esto permitirá la reproducción de cada nueva imagen desde la última empleando muchos menos datos que si cada bloque fuese almacenado como una imagen completa.

Este proceso es similar a desmenuzar cada imagen en bloques y después al emplear los vectores de movimiento armar la siguiente imagen como si fuere un puzzle. Es obvio que la imagen resultante de este proceso no es por lo que se almacenan datos adicionales para corregir este problema (errores residuales), para esto se codifican las diferencias relativas del bloque desplazado respecto al bloque original de la otra imagen.

Si se lo preguntan, sí, al utilizar este método se consume mucho menos espacio de almacenamiento que si se guardan las imágenes completamente. Pero si durante el proceso no se encuentran coincidencias entre las imágenes ésta es codificada como una imagen de datos en lugar de un vector de movimiento.

Como se ha mencionado, el proceso de estimación de movimiento puede utilizar referencia de imágenes futuras, para este proceso se debe introducir un retardo que se fija tanto al codificador como al decodificador. En el codificador, se usa un buffer de memoria que dispone de imágenes de referencia futuras durante el proceso de codificación de la imagen que está siendo analizada. Ahora bien el decodificador debe disponer de las imágenes de referencia futuras para lograr decodificar una imagen que debe ser construida a través de dichas imágenes, por lo tanto en el codificador debe ser intercambiado el orden de transmisión, que no necesariamente deben ser el orden de la secuencia de video. Si el decodificador recibe las imágenes referidas primero este las guarda en una memoria interna para posteriormente decodificar las imágenes que usen la estimación de movimiento. Una vez decodificadas se muestran en el orden.

Para el estándar MPEG se usan múltiples procedimientos y algoritmos que define netamente al desarrollador del producto y por ello se presentan distintas presentaciones, velocidades y calidades de codificación, lo que da lugar a que no existe ninguna recomendación acerca de un método mediante el cual se pueda llevar a cabo este proceso.

Los modelos usados en MPEG-1 y MPEG-2 cubren las transiciones de los objetos, que son los movimientos habituales en escenas de televisión, ya el estándar MPEG-4 completa además las rotaciones de los objetos.

El estándar MPEG sencillamente transmite la transformada coseno de la señal de error, cuantificada y mediante códigos de longitud variable consigue una compresión adicional. La estimación de movimiento mejora el factor de compresión por un factor aproximado a 3 con respecto a la eliminación única de redundancia temporal.

Tipos de Imágenes MPEG. En el grupo de 12 imágenes se definen tres tipos de imágenes:

✓ Imagen I (Intra)

Los bloques son codificados en JPEG, sin ninguna referencia a otras imágenes, es decir, conteniendo todos los elementos necesarios para la reconstrucción de la misma. Obviamente este tipo de imágenes requiere de más espacio de almacenamiento.

✓ Imagen P (Predicción)

Estas imágenes se codifican en bloques, mediante la técnica de estimación de movimiento. Como este método no es perfecto no se pueden multiplicar indefinidamente el número de imágenes P entre dos imágenes I, ya que, como se usan para codificar otras imágenes P o B, se propagan amplificando cualquier error de codificación.

Normalmente es improbable que todos los bloques de una imagen P sean predichos, estos se sustituyen por bloques I.

Por otro lado, algunos bloques no es necesario que sean codificados ya que pueden aproximarse con gran precisión sobre la información que se tiene de la imagen de referencia anterior. En este proceso se realiza una compensación de movimiento de un vector de movimiento nulo y que el error de predicción es nulo para que no sea necesario codificarlo.

Esta imagen contiene una tasa de compresión más alta a las de las imágenes I.

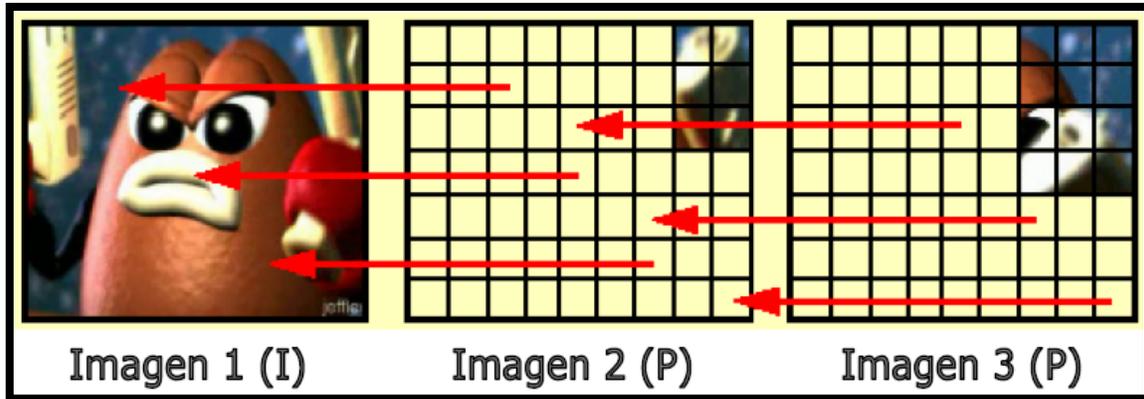


Figura 13. Ejemplo estimación de movimiento imágenes P.

✓ *Imagen B (Bidireccional)*

Los bloques para estas imágenes se codifican a partir de la estimación de movimiento de imágenes I o P anteriores o futuras. Estas imágenes no se usan para predecir ninguna otra imagen por lo que no proporcionan errores.

Debido a que estas imágenes incluyen los dos tipos de predicción (anteriores y futuras) generalmente ofrecen una menor proporción en los bloques intra respecto de las otras imágenes y una tasa de compresión más alta.

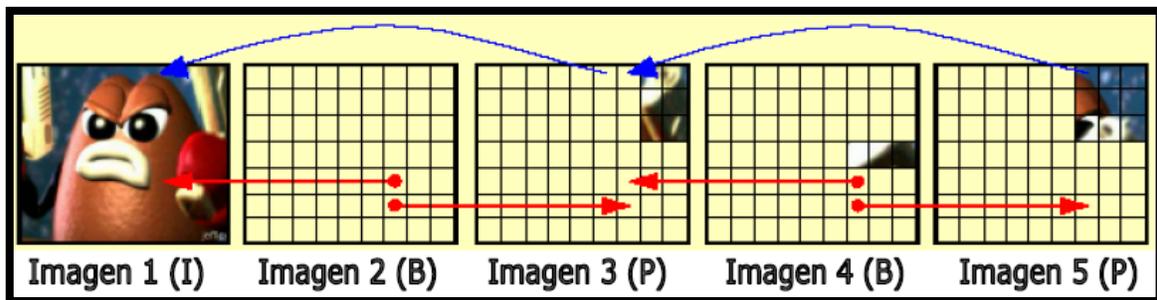


Figura 14. Ejemplo estimación de movimiento de imágenes B

En la figura 14, la imagen P1 se codifica utilizando compensación de movimiento sobre la imagen I1. Ahora la imagen P2, utilizaría la compensación de movimiento tomando como referencia a P1 y la P3 como referencia P2.

Las imágenes B se codifican utilizando la compensación de movimiento bidireccional sobre las imágenes de referencia (I o P) más próximas. Así, la imagen B6 se codifica utilizando como referencia las imágenes P2 o P3.

Evidentemente, para la decodificación de una imagen del tipo B, como ejemplo la B6, debería codificarse primero las imágenes tipo I, después P1, que permite la decodificación de P2 y esta a su vez permite la de P3. Con P2 y P3 se obtiene decodificar B6. Ahora se

observa claramente que la transmisión de las imágenes no es en orden a la forma a que van a ser visualizadas. Se puede deducir que las imágenes B se reciben siempre después de haber recibido las referencias que se han usado para su codificación.

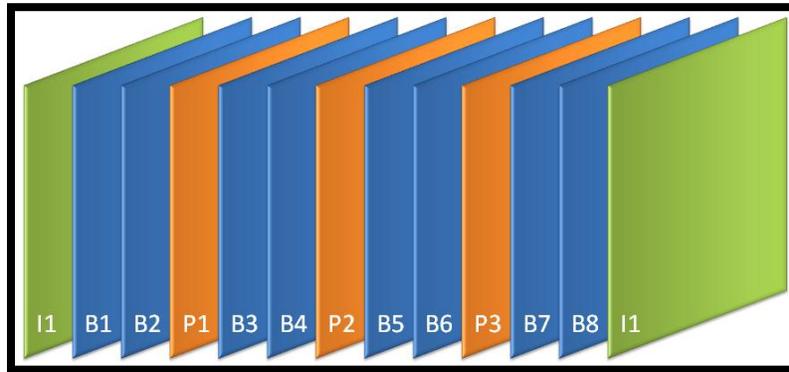


Figura 15. Secuencia de imágenes MPEG.

2.3.9.3. Estructura Jerárquica de una Secuencia de Video MPEG

El estándar MPEG define una jerarquía por capas en el interior de una secuencia de imágenes. Estas capas en orden jerárquico descendente son: Grupo de imágenes (GOP), imagen (I, P o B), sección (slice), macrobloque y bloque.

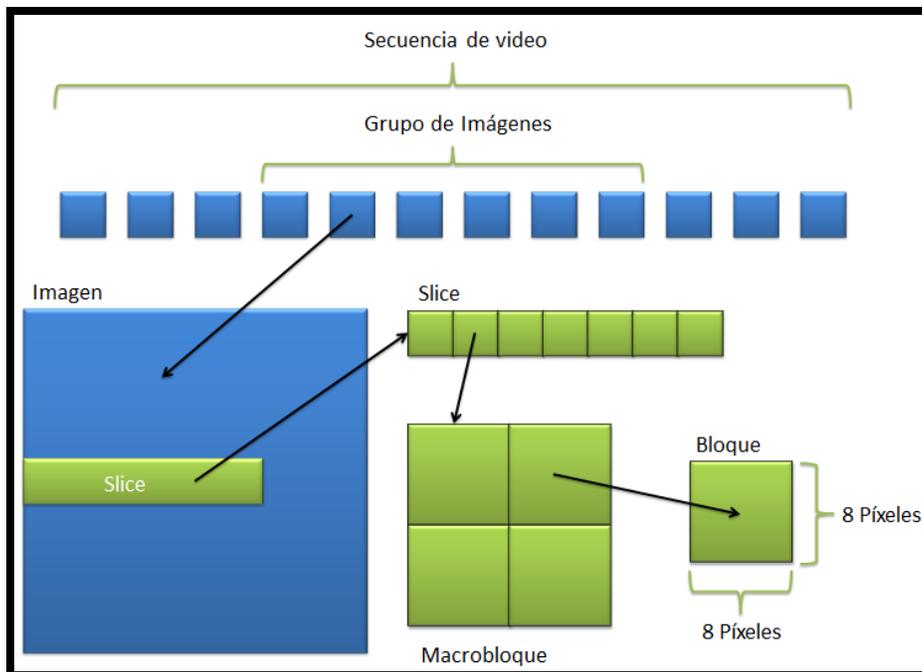


Figura 16. Estructura Jerárquica de la trama MPEG.

Grupo de Imágenes (GOP). Es una secuencia de imágenes que se transmiten en un orden distinto al que van a ser presentados. Los diferentes paquetes GOP que se transmiten para

posteriormente ser ordenados en una misma secuencia en el que serán mostrados en el display, Este grupo de imágenes siempre comienzan por una imagen I.

Imagen (Picture). Es la unidad que se visualiza y se compone por una agrupación de secciones (secuencias de macrobloques contiguos). La cabecera define el tipo de imagen I, P o B, así como los valores máximos del vector de movimiento y el orden de la imagen en el GOP.

Sección (Slice). Es una sucesión de macrobloques contiguos y es la unidad básica de resincronización del sistema por lo que es una parte importante en el soporte de errores. A esta capa se le añaden bits de corrección, de forma que si se detecta un slice corrupto, ignora su información y continúa con el siguiente. El número de bloques dentro de un slice varía desde un único macrobloque hasta una imagen entera. Comúnmente un slice es una fila horizontal completa de macrobloques que incluyen un código en su cabecera que define el inicio del slice y el factor de escala del cuantificador.

Macrobloque. Es la unidad en la que se realiza la compresión de movimiento. Esta se forma de una agrupación de 4 bloques de luminancia (región de 16x16 píxeles), 4 bloques de C_B (región de 8x8 píxeles) y 4 bloques de C_R (región de 8x8 píxeles). Además este proporciona información sobre el tipo de codificación, la escala del cuantificador y el vector de movimiento.

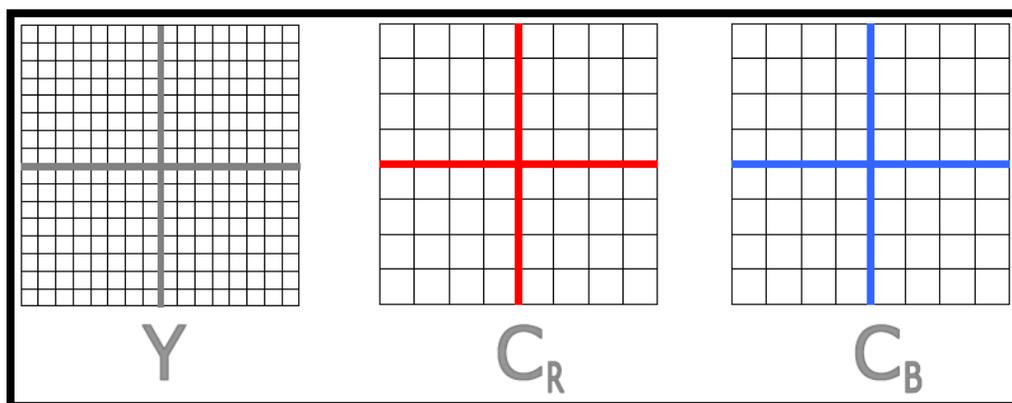


Figura 17. Regiones de Luminancia y componentes de Crominancia.

Bloque. A esta sección es a la que se aplica la transformada de coseno discreta (DCT). Está formada por bloques de 8x8 píxeles en luminancia y 4x4 en la de crominancia. Esta contiene información relativa de la *componente continua* (DC), los coeficientes AC y la información de finalización de la codificación de bloque (EOB).

2.3.9.4. MPEG-2

Este es un estándar de codificación, que representa una calidad mucho mejor que la de su predecesor (MPEG-1), para transmisiones de TV Digital (Calidad broadcasting), este ha

sido el formato que adoptaron ampliamente como sistema de compresión de audio y video, para distintas aplicaciones. De este modo el sistema DVB aprobó a MPEG-2 como el formato de compresión de sus señales de transmisión y simultáneamente para almacenamiento de video en formato comprimido como DVD y Blue-Ray⁶.

El comité MPEG establece normativas que especifican la sintaxis y la semántica del flujo de bits que debe recibir el decodificador, pero da libertad al usuario sobre el procedimiento de codificación y decodificación usados para interpretar dicho flujo. Esto ha facilitado la competencia libre entre los productos que usan esta tecnología, donde cada una de estas puede conseguir mejores o peores relaciones de calidad de imagen y sonido y factor de compresión dependiendo del algoritmo de compresión utilizado en las diferentes arquitecturas.

Básicamente la mayoría de aspectos de codificación tratados en MPEG-1 son comunes en MPEG-2, aunque se diferencian en parámetros como dimensiones de las imágenes que pueden tratar y que MPEG-2 trabaja con señales entrelazadas.

Perfiles y Niveles. MPEG-2 produce flujos de bits que se manejan entre los 2 y 15 Mbit/s y cubre un amplio conjunto de formatos digitales como *ITU 601* (4:2:2 y 4:2:0), *HDTV* (TV de alta definición), *SDTV* (TV con definición Estándar), entre otras. Algunos de estos experimentan versión de exploración progresiva, exploración entrelazada y algunos hacen una fusión de las dos.

MPEG-2 define varias capas que corresponden a combinaciones de *perfiles* (Profile) y *niveles* (Level), aunque no están permitidas algunas combinaciones.

En la figura 18, se incluyen 5 perfiles que establecen restricciones sobre los algoritmos de compresión que determinan las herramientas de compresión usadas y, por lo tanto, la función entre la tasa de compresión y la complejidad de decodificador, también se observan 4 niveles que definen la resolución de la imagen, es decir el número máximo de píxeles que son tomados de la imagen que suelen ser diferentes dependiendo del sistema a 60 Hz o 50 Hz.

⁶ Blue-Ray: formato de disco óptico de nueva generación de 12 cm de diámetro (igual que el CD y el DVD) para vídeo de gran definición y almacenamiento de datos de alta densidad

Nº Máximo de Muestras								
25 Hz	30 Hz							
1920x1152	1920x1080	LEVELS	HIGH		MP@HL 80 Mb/s			MP@HL 100 Mb/s
1440x1152	1440x1080		HIGH 1440		MP@H14L 60 Mb/s		SSP@H14L 60 Mb/s	HP@H14L 80 Mb/s
720x576	720x480		MAIN	SP@ML 15 Mb/s	MP@ML 15 Mb/s	SNRP@ML 15 Mb/s		HP@ML 20 Mb/s
352x288	352x240		LOW		MP@LL 4 Mb/s	SNRP@LL 4 Mb/s		
			SAMPLE	MAIN	SNR Scalable	SPATIAL Scalable	HIGH	
PROFILES								
			4:2:0				4:2:0 4:2:2	
			Imágenes tipo B					
			SNR Escalable					
			Espacialmente Escalable					

Figura 18. Niveles y Perfiles de MPEG-2.

Por lo anterior cada capa determina entre otras cosas la resolución de la imagen, las herramientas de codificación y el flujo máximo.

De figura 18 se obtiene el *perfil MAIN* y el *nivel MAIN* (MP@ML) que corresponde al elegido por el estándar DVB y por lo tanto se tienen que:

- ✓ Imágenes entrelazadas, de una resolución máxima de 720x576 para 25 imágenes por segundo y 720x480 para 30 imágenes por segundo.
- ✓ Estructura de muestreo 4:2:0.
- ✓ Codificación de imágenes I, P, B.

Con las diferentes combinaciones de MP@ML se obtienen tasas de bits cercanas a los 4Mbit/s (calidad imagen PAL) y a los 9 Mbit/s (calidad de imagen a una de estudio), y definiendo que la tasa máxima de codificación es de 15 Mbit/s.

Proceso de Codificación. En la figura 19 se ve claramente el proceso de codificación del sistema MPEG-2, se identifica una semejanza al estándar MPEG-1.

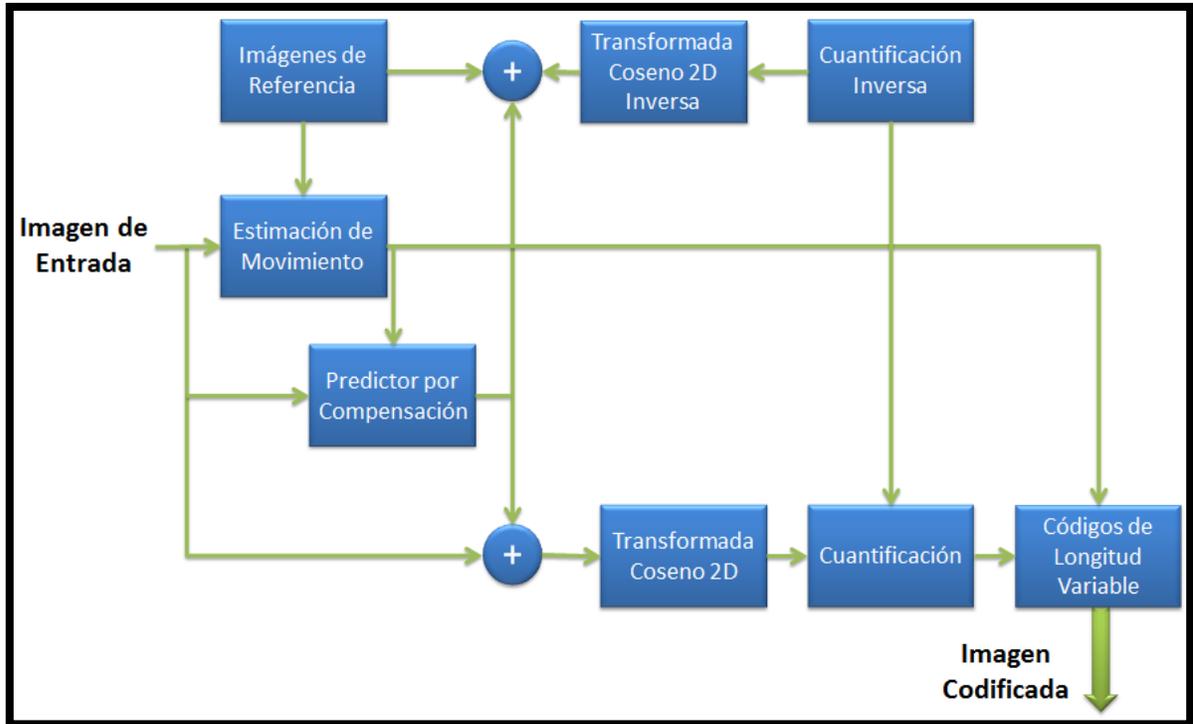


Figura 19 Esquema básico de proceso de codificación MPEG-2.

En el bloque de *estimación de movimiento* es donde se proporcionan los vectores de desplazamiento que deben aplicarse a la predicción de los bloques. Esta etapa no se usa en el caso de que se traten imágenes tipo I o indicar cuando es conveniente aplicar la compensación de movimiento.

Ahora en el proceso de *códigos de longitud variable* que está a la salida del estimador de movimiento, se usa para optimizar la codificación de estos vectores. A la diferencia entre el bloque actual y bloque de referencia desplazado se le denomina predicción de error y a esta se le aplica la etapa de DCT. Si en algún caso en el que se lleve a cabo la codificación intra del bloque, la señal en la salida del *predicador por compensación* es cero de modo que se calcula la DCT directamente en el bloque a codificar. Los coeficientes que son transformados se cuantifican perceptualmente.

Para evitar que los errores de cuantificación se vayan acumulando e impidan que el receptor recupere una imagen de calidad aceptable el codificador almacena en memoria las imágenes de referencia que recuperará el decodificador.

Si en una determinada secuencia de video un fragmento de este contiene excesiva información no predecible, esta puede reducirse utilizando codificadores con menos pasos, todo esto modificando en tiempo real los factores de escala del cuantificador.

Se debe tener en cuenta que la codificación MPEG es irreversible, ya que el total de los datos que son codificados no pueden recuperarse en el decodificador. Los codificadores

tienden a ser algo complejo ya que se deben identificar las áreas de movimiento, vectores óptimos de movimiento, control del caudal binario para la modificación de los niveles de cuantificación, determinar cuándo se puede repetir un bloque y determinar cuándo se aplican las técnicas de codificación intra-imagen o inter-imagen.

Ahora bien el decodificador es más sencillo y contiene los elementos necesarios para invertir el proceso del codificador. Básicamente lleva a cabo un proceso de conversión de los códigos de longitud variable a coeficientes cuantificados y vectores de movimiento y finalmente restablece las imágenes al formato de video convencional. [21]

2.3.9.5. Sistema de Transporte Y Multiplexado En Tv Digital

Aquí se identifican los procedimientos de transporte de las señales digitales de televisión que se basan en el estándar MPEG. Para la transmisión de las señales de TV digital no basta con la codificación de fuente que de forma general está basada en MPEG-2, es de gran necesidad que la señal sea transportada entre la fuente y el usuario final ya sea un televidente o una empresa dedicada a la difusión de programas televisivos por aire, cable satélite entre otros. Independientemente del medio en que es transmitida la señal asumiendo que este es ideal y transparente en el sentido de atenuación de la señal, sino que se debe especificar la forma en que debe ser transportada. Con este propósito se han diseñado estándares que son relativos al transporte de señales MPEG-2 con el fin que los sistemas sean fabricados para que cumplan con ellos y se garantice que el usuario logre recuperar la señal de televisión (audio, video y datos).

2.3.9.6. Flujo de Transporte MPEG-2

MPEG-2 en si es una especificación de la sintaxis o semántica de la compresión que se efectúa en una señal de televisión para este caso, en donde se evalúan los requisitos que debe cumplir para un proceso de decodificación exitoso. En otras palabras especifica la gramática con que se debe generar la señal, pero dejando abierto un camino para que el diseño de los codificadores puedan ser variados, pero que no cambien en su gramática ya que en el decodificador se hace la incorporación de la misma para que la señal sea con vertida en una de televisión útil.

Ahora este estándar especifica también la forma en que la señal digital debe ser transportada disponible en la ISO/TEC 13818-1. Donde se hace referencia al transporte de la señales codificadas y multiplexadas hasta el decodificador a través de los componentes físicos con el fin que el decodificador identifique la información por el flujo o caudal binario.

MPEG-2 agrega un *caudal o flujo de transporte*, este flujo tiene que ver con la conectividad entre los sistemas (coder & decoder) en condiciones adveras, como se presentan en los medios radioeléctricos donde se introduce ruido y errores en el medio. Básicamente este flujo de transporte permite transmitir más de un programa

simultáneamente y permite que este pueda tener diversos flujos de audio, video y la inclusión de datos que no necesariamente están relacionados con la señal de televisión. El sistema MPEG-2 da un enfoque de multiplexado en dos niveles. La primera se destina a asegurar el sincronismo entre audio y video y se le llama flujo elemental de paquetes (PES). La segunda depende del medio de comunicación, en donde se definen en dos grupos uno para los medios libres de error como los de almacenamiento en cinta o disco, que se denomina *transporte de programa*, mientras que en los entornos donde se producen errores se llama *flujo de transporte*.

2.3.10. Tecnología Básica de Transmisión

Este sistema está basado en la tecnología de transporte de paquetes, similar al usado por Ethernet. La información digital de audio y video se segmenta en serie de paquetes, con información que es añadida en el encabezado y la cola para hacer que el sistema de transporte pueda llevar el segmento que corresponde al contenido y el destino de cada paquete.

Esta técnica ofrece en la televisión digital una ventaja importante, y es cuando una variedad de flujos binarios sin ninguna relación entre sí, pueden ser mezclados en un mismo flujo o caudal, como si gran número de vehículos comparten una misma autopista. Este caso es una forma de multiplexado aunque no es así este se designa de forma apropiada como la *conmutación de paquetes*, en el que cada paquete corresponde a un flujo de información particular y tiene un número de identificación que lo distingue de los demás. En MPEG los paquetes son identificados gracias a un campo específico que se denomina *identificador de paquete* (PID). Algunas de las ventajas que presenta esta tecnología se encuentran la posibilidad de variar el flujo y la velocidad de forma dinámica para cualquier flujo particular y se accede a cualquiera de ello simplemente seleccionando el PID.

2.3.11. Elementos Fundamentales del Sistema de Transporte MPEG-2

Flujos Empaquetados Elementales (PES). En la salida del decodificador MPEG siempre debe haber alguna señal ya sea de audio o de video que constituyen un *flujo elemental*. Luego ambos son integrados en un *flujo empaquetado elemental* que contiene la información de audio y video sobre la cual actúa el decodificador. Además de estos parámetros incluye *sellos o marcas de presentación de tiempo* (PTS) las cuales permiten la sincronización de audio y video.

Referencia del Reloj del Programa (PCR). Este elemento incluye una referencia de tiempo a nivel del sistema, de gran precisión que se agrega al flujo de sistema de modo que el decodificador puede ajustar su reloj para que esté completamente sincronizado con el reloj del codificador, que se denomina *Reloj de referencia del sistema* (SCR) en el flujo de programa, mientras que para un flujo de transporte se implementa la *referencia de reloj del programa* (PCR). En el caso de MPEG-2, estas referencias de reloj se ENGANCHAN A

UNA FRECUENCIA DE 27 MHz y son insertadas dentro del sistema a una velocidad de 100 milisegundos, con el fin que el decodificador pueda comparar su reloj con el del codificador en tiempo, de llegar a estar descoordinado este ajusta su reloj al del PCR. Dicho PCR se inserta en el PES de video en un programa particular y puesto que existe un PCR particular en cada programa en un sistema de transporte de programas, cada uno de ellos se codifica a una velocidad diferente por distintos codificadores.

Información específica del programa (PSI). El contenido en un sistema de transporte no solo cuenta con múltiples programas, además cada uno de ellos está conformado por múltiples señales de video y audio. Entonces se introduce una especie de directorio con el cual puedan ser identificadas. El flujo de transporte introduce para este fin cuatro tablas, dos de ellas se denominan la *tabla de asociación de programas (PAT)* y la *tabla del mapa del programa (PTM)* estas se usan para localizar los elementos de cada programa conocidas en el flujo de transporte.

La especificación MPEG-2 define otras dos tablas en el entorno PSI, la primera es la *tabla de información de red (NIT)* puede transportar información sobre los parámetros físicos de la red, como frecuencias en un contexto multiplexado en frecuencia (FDM) y números de transpondedores en el caso de comunicaciones por satélite. Esta tabla es definida por el proveedor del servicio quien es el responsable de la implementación de la red.

Por último se encuentra la *tabla de acceso condicional (CAT)* que permite la asociación de mensajes para la gestión de un programa (EMM⁷), por ejemplo cuando se permite la reproducción de un programa en particular en el decodificador. También se usa para transmitir información que es necesaria para la descripción de señales. Al igual que la NIT esta es definida por el proveedor.

El sistema de transporte no es usado únicamente para audio y video, sino que también introduce información relacionada con la programación, tal como carteleras, subtítulos entre otras o bien en un futuro para otro tipo de información. Este tipo de informaciones pueden estar incluidas en la trama de transporte y constituyen un valor agregado a los servicios que prestan los radiodifusores y operadores de cable. Para ello se añaden otro tipo de tablas que reciben el nombre genérico de *información del sistema (SI)*.

- ✓ *Tabla de acceso condicional (CAT).* Esta tabla se usa para el descifrado de información y para el control de acceso. Esta tabla es importante ya que impide la piratería de programas en el sistema DVB.
- ✓ *Tabla de asociación de "bloques" (BAT).* Se entiende como el conjunto de servicios comercializados como una entidad única. Contribuye a la organización del mapeado en varias redes.
- ✓ *Tabla de descripción de servicios (SDT).* Esta tabla describe los servicios de su nombre, proveedor y demás información relativa.

⁷ EMM: Entitlement Management Access

- ✓ *Tabla de información de eventos (EIT)*. Esta tabla es una guía de programación en línea y contiene la información sobre los nombres de programas, horario, duración y categoría (deportes, película, etc.).
- ✓ *Tabla de estado (RST)*. Es una lista en donde se encuentra la disponibilidad de programas y si están o no codificados.
- ✓ *Tabla de tiempo y fecha (TDT)*. Contiene información sobre la fecha y horarios locales y se utilizan en el decodificador para actualizar su reloj.

2.3.12. Concepto general del sistema de transporte

El sistema de transporte en televisión digital, aunque es similar al analógico presenta algunas diferencias. En los sistemas analógicos, cable o fibra óptica las señales de audio y video se multiplexan en frecuencia y se aplican a esquemas tradicionales y conocidos. En las señales digitales de televisión y si se considera que solo se habla de audio y video, estas deben ser transmitidas como un flujo binario único, por lo que también es necesario multiplexarlas, pero en esta se hará en tiempo.

Tanto para audio como para video el estándar MPEG define un esquema de transmisión en paquetes de longitud definida, gracias a esto es posible el multiplexado de paquetes, con el fin que el usuario pueda recibir la señal de audio al mismo tiempo que la imagen. Esta estructura es fundamental, no solo para el transporte de la señal, sino que añade aspectos importantes como la grabación, reproducción y edición de los programas de televisión.

En la transmisión digital el ancho de banda depende del nivel de compresión aunque se hable de un valor fijo (6, 7 y 8 MHz), en el BW⁸ de un canal analógico pueden ser transmitidos varios canales digitales con calidad equivalente, lo mismo ocurre en sistemas de cable y satélite.

Básicamente un sistema de transporte puede transmitir un programa único de televisión o bien varios programas para su distribución. Además en el sistema es posible transmitir información de valor agregado como son tablas de programación, subtítulos entre otras características de interactividad,

2.3.13. Características de los paquetes en el Sistema de Transporte

El flujo binario en el sistema de transporte está formado por paquetes de una longitud fija, en el que se incluyen el encabezado que puede ser de valor fijo o variable como se ve en la figura 20.

⁸ BW: Ancho de Banda

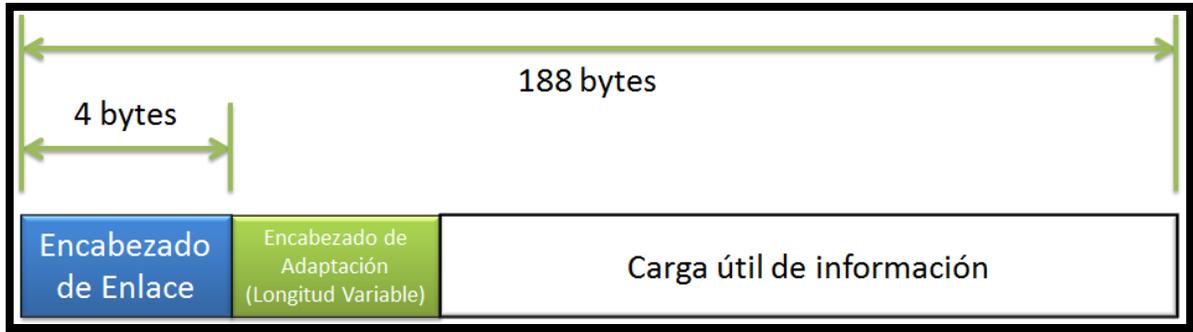


Figura 20. Formato de los paquetes de transporte.

Cada paquete tiene una longitud de 188 bytes y se destacan en él algunas características como:

- ✓ Los paquetes deben ser grandes de modo que la longitud del encabezado no sea significativa con respecto a la de la información contenida en el paquete.
- ✓ No debe ser tan grandes ya que podrían impedir una corrección de errores eficiente.
- ✓ La longitud de los paquetes debe coincidir con las dimensiones de los bloques sobre los que se encuentran los métodos de corrección de errores, con el fin que puedan ser sincronizados.
- ✓ Es deseable que la longitud de los paquetes, permitan la operatividad con las redes ATM.

El contenido de cada paquete es identificado con un encabezado, está basado en una estructura de capas y se describe como la combinación de una capa de enlace de longitud fija y una capa de adaptación de longitud variable como se observa en la figura 19. Cada una de las capas identifica un proceso especial, similar las capas de enlace y transporte del modelo OSI. Estas capas en un sistema de televisión se usan directamente para el enlace de radiodifusión en el que es transmitido el flujo de transporte MPEG-2. En otro tipo de redes como ATM continúan sirviendo como identificadores de los contenidos del flujo binario. [21]

2.3.14. Capa de enlace

Esta capa es implementada en el encabezado con un campo de 4 bytes, y sus funciones son:

Sincronización. Esta función sincroniza el paquete y es realizada por el primer byte, y es denominado *sync_byte* (bit de sincronización). Es un valor fijo y está preasignado a todos los flujos de MPEG-2. En algunos decodificadores, esta función se realiza en la capa física del sistema de comunicación, y precede la etapa de demultiplexado. Este campo puede usarse para la verificación del sincronismo del paquete o como la fuente primaria de información para establecer el sincronismo.

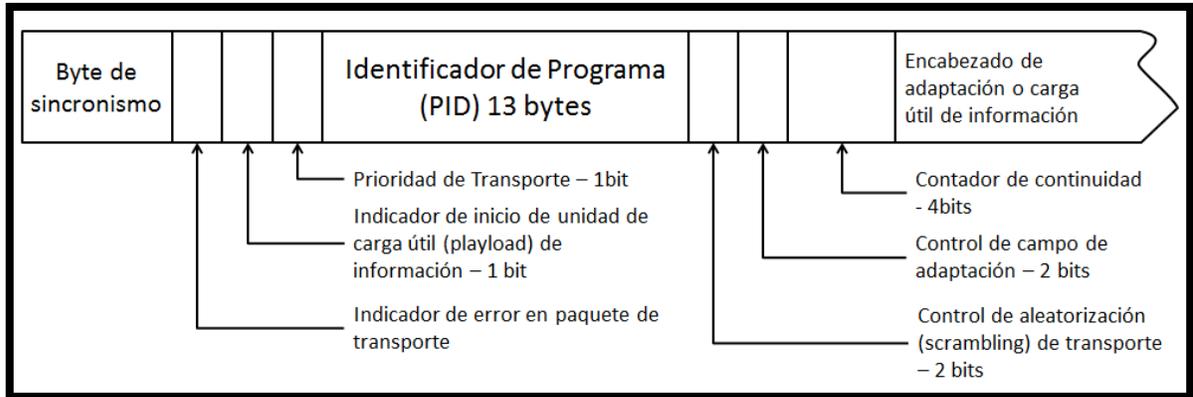


Figura 21. Formato del encabezado de enlace.

Identificación de paquetes. Es un elemento importante del encabezado de enlace ya que está formado por 13 bits que está definido como *identificador de paquetes* (PID), esto proporciona el mecanismo para el multiplexado y demultiplexado de los flujos de datos, identificando en él que pertenecen a un flujo de datos ya sea de información o de control. La ubicación del PID siempre es fija por lo tanto la extracción de los paquetes correspondientes al flujo es relativamente fácil un vez se a sincronizado el paquete. Esto es importante para los sistemas de alta velocidad como lo es la TV digital.

Manejo de errores. Esta función es activada por el *contador de continuidad*. En el Tx este campo crece de 0 a 15 para todos los paquetes que contienen un mismo PID en donde se transporta la carga de información. En el Rx, se identifica la pérdida de información como la discontinuidad en el contador de continuidad para un flujo de paquetes PID, donde el procesador de transporte indica que en un flujo elemental particular se han perdido datos.

Debido a que cierta información es de gran importancia para el funcionamiento del sistema, este cuenta con medios para aumentar la robustez contra posibles errores de canal, en donde se hace un duplicado de los paquetes en el codificador. El decodificador hace uso de estos cuando se presentan errores en los paquetes originales de no ser así estos son descartados.

Carga útil de información (payload). Este es el *indicador de inicio de unidad de carga útil* que se usa para el señalamiento de la carga del paquete que contiene el inicio de una estructura que a su vez tiene la carga de información. Para los datos de audio y video, este es el (PES) y (PSI), al inicio de la tabla.

Encabezado de adaptación. Está contenido por 2 bits de *control del campo de adaptación* que identifican si se hay presente un encabezado de adaptación y si contiene carga de información específica del programa (PSI).

Aleatorización o Scrambling. Esto permite el acceso condicional y reporta otras ventajas, como mayor protección frente a errores, uniformizar el uso de la banda disponible y facilitar la sincronización

Encabezados de nivel de adaptación. El encabezado de adaptación contiene información útil para las diferentes funcionalidades del decodificador y está compuesta de dos segmentos, uno que es de longitud fija y otro de longitud variable. Está basado en indicadores (flags) para señalar si hay extensiones del campo y siempre es indicada con una componente fija de 2 bytes en el propio encabezado.

2.3.15. Capa de adaptación

En la capa de adaptación se define un encabezado de longitud variable y es señalado en la sección de nivel de enlace del encabezado. Las funcionalidades de los encabezados están relacionadas con el proceso de decodificación del flujo elemental, y se extraen mediante las funcionalidades del nivel de enlace. A continuación se describe estas funciones.

Sincronización. Este es un proceso elemental en la decodificación de contenidos (audio, video, datos, etc.) en el receptor. Ya que los datos que son recibidos deben procesarse a una velocidad igual con la que se generaron en el transmisor. Si esta etapa no funcionare perfectamente ocurrirían problemas como desbordamiento de buffer en el decodificador, y esto llevaría a una mala presentación de la información visual y sonora.

Para evitar problemas de en el sincronismo, es necesario que se transmita la información de sincronismo en los encabezados de aplicación de los paquetes seleccionados, que le sirva a decodificador como referencia. Este proceso se lleva a cabo transmitiendo una muestra de la señal de reloj a 27 MHz en el campo de *referencia del reloj del programa* (PCR), en donde se indica el tiempo esperado para completar la lectura de ese campo en el flujo binario del decodificador de transporte. El valor del oscilador local o señal de reloj es comparada con el valor PCR en el flujo binario de transporte en el instante en que se obtiene, y con ello se determina si el proceso de decodificación esta sincronizado. Hay excepciones a la regla por ejemplo si en el receptor se cambia el canal o cuando se insertan programas locales. Las frecuencias de muestreo de audio y video están directamente relacionadas con la frecuencia de reloj del sistema, obtenida en los valores del PCR, permitiendo una rápida adquisición de sincronismo en los casos mencionados (cambio de canal o inserción de programas).

Acceso aleatorio al flujo de datos comprimidos. Existen aplicaciones en la cuales es necesario acceder en el flujo de datos de audio y video. Esto solo se puede hacer si dicho flujo lo permite directamente. Por ejemplo si se habla de video es posible acceder a las imágenes I que no poseen ningún tipo de predicción y por lo tanto, pueden ser decodificados sin necesidad de una información previa. En el inicio de un encabezado de una secuencia de video que precede a los cuadros I, puede usarse como punto de acceso aleatorio a un flujo elemental de video y se debe tener en cuenta que dichos puntos

deben coincidir con el inicio de los paquetes PES. Este acceso aleatorio lo proporciona un indicador en el encabezado de adaptación que establece si tiene un punto de acceso aleatorio para el flujo elemental. Con este enfoque pueden ser descartados directamente en la capa de transporte los paquetes presentes cuando se conmuten canales y se inicia la búsqueda de un punto de resincronización del sistema en el flujo de transporte. El objetivo básico de este elemento es tener puntos de acceso aleatorios tan frecuentes como sea posible, para así permitir una conmutación rápida entre canales.

Inserción de programas locales. En el sistema de transporte existe la posibilidad de insertar programas locales y publicidad comercial mediante el uso de indicadores (flags). La inserción de segmentos de un programa y la conmutación de canales son similares pero existe una diferencia principal, que radica en las constantes de tiempo que se involucran dentro del proceso de segmentación y también, se destaca el hecho que en la inserción de segmentos de programa, el flujo binario conmuta se nuevo al programa original mientras que para la conmutación de canales generalmente se hace para otro programa.

El proceso de inserción de programas está distribuido en dos capas. En una capa inferior se relacionan las funciones con la segmentación de los flujos de transporte para los elementos que son individuales en cada programa. En la capa superior está relacionada la coordinación de estos procesos con los que se llevan a cabo en los diferentes flujos elementales que conforman el flujo general de transporte de programa. Este proceso se ve en la figura 22.

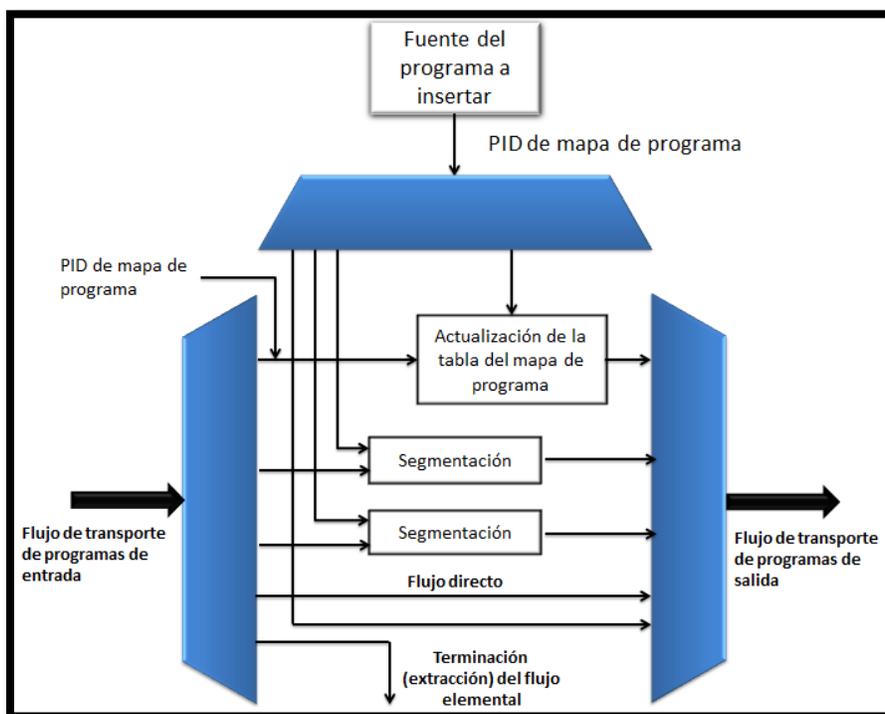


Figura 22. Arquitectura general de la inserción de programas.

En el esquema general de la inserción de un programa local se tiene como primera medida el demultiplexado de los flujos elementales individuales y con ello la extracción de los paquetes, que se identifican por sus correspondientes PIDs, incluyendo el flujo de la tabla del mapa de programas. Posteriormente se procede con la inserción de programas basados en PIDs individuales. Algunos de los paquetes pueden pasar directamente al multiplexor de salida sin ser modificados.

La inserción del flujo binario elemental mediante una interfaz que corresponde al programa que será insertado, está presente en la capa de transporte del protocolo. Los aspectos básicos que permiten dicha inserción son el *contador de discontinuidad* y el *contador de segmentación* que se encuentran en el encabezado de transporte.

El *contador de discontinuidad* indica al decodificador que la *referencia de reloj del programa* (PCR) cambia a una nueva base de tiempo. Esto se refiere a que el decodificador es informado de que hubo un cambio en el flujo binario, y se debe a provoca miento intencionado por el suministrador del programa y no a un error de canal.

El *contador de segmentación* en el encabezado de adaptación es usado para indicar que el paquete subsecuente es el punto para que se conmute a un nuevo flujo binario. Este contador posee un número positivo que va decrementando por cada paquete de ese servicio específico.

2.3.16. Multiplexado en Alto Nivel

El sistema de multiplexado en la TV digital se define como la combinación de multiplexado para dos capas diferentes. Para la primera, se multiplexan uno o más flujos elementales obteniendo así los flujos de transporte. Para la segunda condición los flujos de transporte son combinados, generalmente se hace por multiplexado asíncrono de paquetes, para formar el sistema como tal.

Multiplex de transporte de programas. Primero se debe aclarar que en este aparte se define como programa a algo que no tiene relación con el que ocupa una canal de TV analógica, el término flujo de programa hace referencia a un flujo binario particular y el flujo de transporte de programa describe un flujo de transporte que es generado por un programa específico.

Es bien sabido que el flujo de transporte de programa se forma de la multiplexación de los flujos binarios elementales, con o sin empaquetado PES y son organizados en paquetes de transporte y se agrega un flujo binario de control, creando paquetes de transporte que se denominan *mapa del flujo elemental* esto se puede observar en la figura 22. Estos flujos son identificados por únicos PIDs que se localizan en su cabecera. El flujo de control contiene una *tabla del mapa del programa*, en la que se describe el mapa del flujo elemental e incluye información de los PIDs de los flujos de transporte y también la identificación de las aplicaciones que se transmiten en esos flujos.

Se tiene en cuenta que un programa está definido por un gran número de flujos elementales, sin ningún tipo de restricción con las aplicaciones del programa. Un flujo de transporte de programa no necesita contener un único caudal de video o audio, también puede contener un caudal de datos. Ahora bien un flujo de transporte contiene múltiples flujos de video y audio que se relacionan entre sí, siempre y cuando compartan una base de tiempo en común.

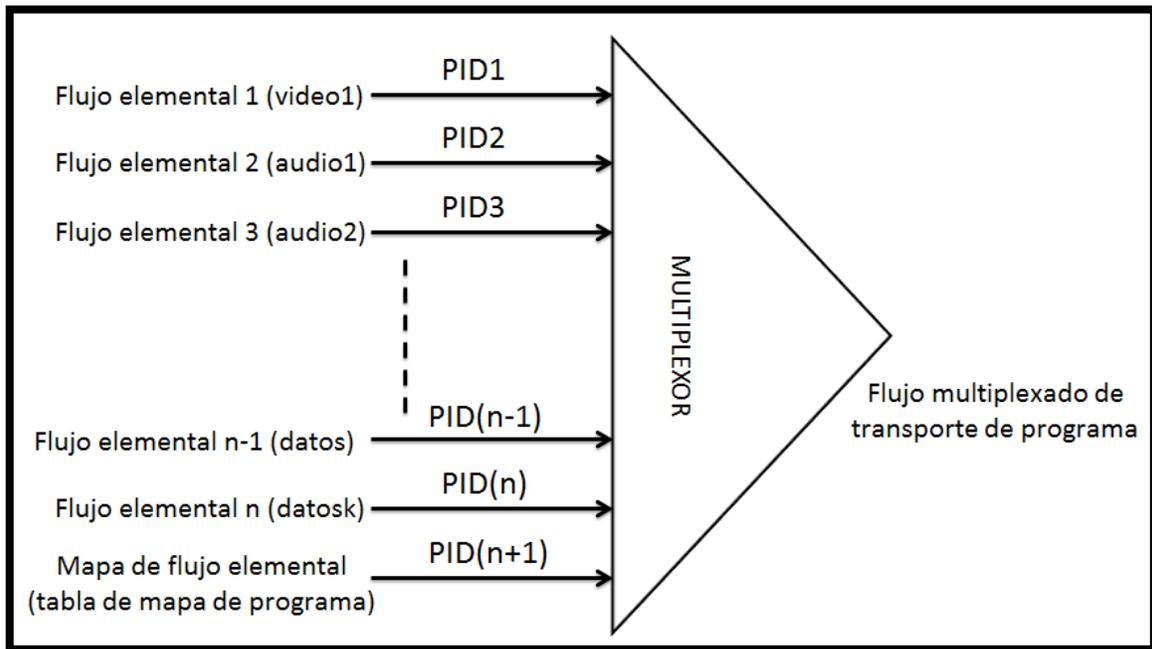


Figura 23. Multiplexado de flujo de transporte de programa.

La coordinación entre los elementos de un programa son controlados en la etapa de presentación, basados en el empleo de una base de tiempo común. Esto se obtiene cuando todos los flujos elementales de un programa deriven la información temporal de un reloj único y que luego sean transmitidos a través de los PCR en uno de los flujos elementales que constituyen un programa.

Multiplex del sistema. Este es un proceso de multiplexado de los diferentes flujos de transporte de programas. Además de los flujos de transporte con su correspondiente PID, se define un flujo binario de control con un PID = 0. La identidad de cada programa es representada por un número de la tabla de asociación y se tiene en cuenta que un programa completo corresponde a lo que se designa canal de televisión. Ahora bien para el proceso de identificación de un programa y su contenido se establece dos etapas. Para la primera se acude a la tabla de asociación del programa en el flujo de PID = 0, en donde se identifica el PID que transporta a la tabla del mapa del programa, posteriormente para una segunda etapa se obtienen los PIDs, de los flujos elementales que constituyen en si el programa, en el demultiplexor se pueden ajustar filtros para recibir solo los flujos binarios

de transporte que corresponden al programa de interés (lo que se denomina como favoritos).

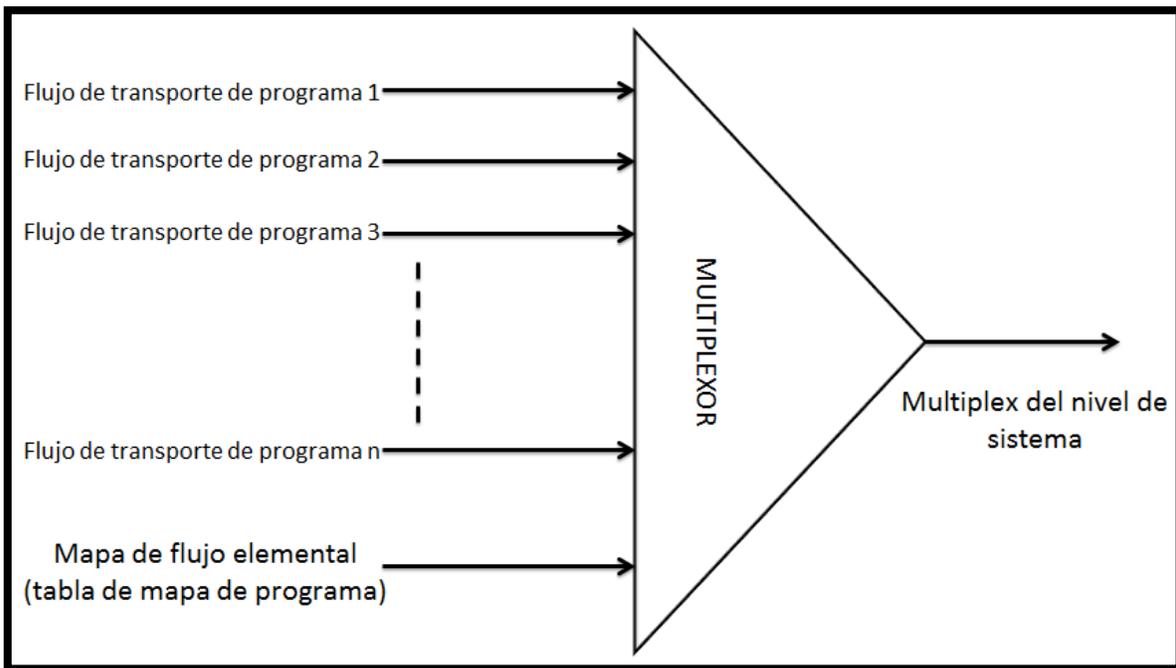


Figura 24 Función del multiplex para formar el flujo binario a nivel del sistema.

Hay que resaltar que en el proceso de multiplexado a nivel de sistema, posiblemente los PIDs en diferentes flujos sean iguales a la entrada. Esto es un problema ya que estos deben ser únicos, para ello, en la etapa de multiplexado se modifica algunos PIDS justo antes de multiplexar los flujos de datos. Otra opción es asegurar que los PIDs utilizados en los programas que constituyen el sistema sean únicos, aunque esto no siempre es posible cuando se trata de flujos que están almacenados. [22]

2.3.17. CODIFICACIÓN DE CANAL

En la figura 25 se representa el esquema general de codificación de canal en el sistema DVB-T.



Figura 25. Codificador de canal en DVB-T.

Los paquetes de transporte en el formato MPEG-2 como se ha visto, tienen una longitud de 188 bytes, siendo el primer byte el de sincronización, cuyo valor siempre es 0x47 (01000111). [21]

2.3.18. Adaptación y Dispersión de Energía

En el proceso de *dispersión de energía* del espectro radiado, debe asegurarse que la señal de entrada debe formarse cuasi-aleatoria, con ello se evita largas filas de ceros o de unos. Por tal motivo, el multiplex de entrada debe ser *aleatorizado* (randomized), esto se observa en la figura 26.

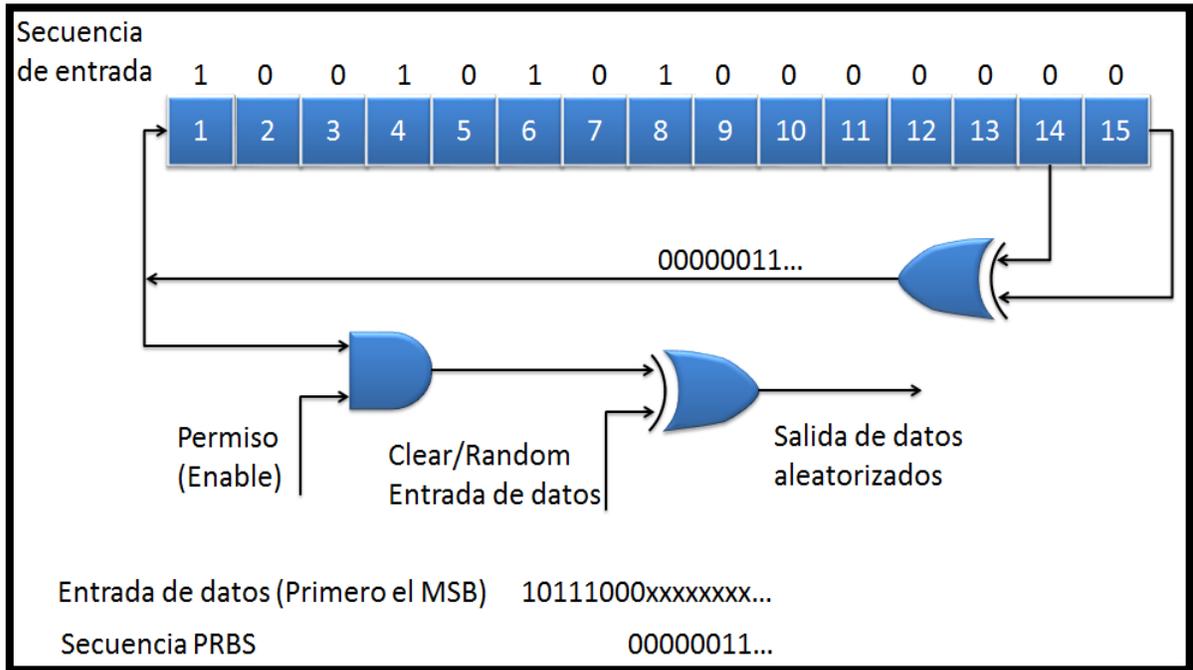


Figura 26. Generador PRBS para dispersión de energía del flujo de transporte (Aleatorizador).

Con este proceso se quiere obtener una *secuencia binaria pseudoaleatoria* (PRBS), para esto se hace uso de un generador que usa un polinomio de la siguiente manera:

$$1 + x^{14} + x^{15}$$

Los registros que contienen el generador PRBS, sirven para desordenar y ordenar, y tienen cargada la secuencia 100101010000000, esta debe ser siempre iniciada al comienzo de un conjunto de 8 paquetes de transporte. Se tiene en cuenta que los bytes de sincronización nunca se verán afectados por la aleatorización.

En el receptor se debe incluir una señal de inicialización, que permite identificar cada conjunto de 8 paquetes de transporte que serán afectados por la aleatorización, con esto se identifica que el byte de sincronización del primer paquete de cada conjunto de 8 está invertido, entonces no será 0x47 (01000111) sino 0xB8 (10111000). A este proceso se le conoce como *adaptación del flujo de transporte*.

Ahora se hará una descripción del funcionamiento del aleatorizador:

- ✓ El primer bit en la salida del generador PRBS se aplica al primer bit (MSB⁹) del primer byte que sigue al byte de sincronización invertido del TS (0xB8) y así sucede con los demás bits.
- ✓ Como segunda medida se ayuda al resto de funciones de sincronización, durante los bytes de sincronismo de los restantes 7 paquetes.
- ✓ Finalmente la generación PRBS debe continuar pero quedando en un estado deshabilitado, dejando a estos bytes intactos.

De esta forma se tiene que el periodo de secuencia del PRBS es de 1.053 bytes (188 x 8-1).

El proceso anteriormente descrito debe continuar así no se trate de un flujo de transporte que no cumpla con el formato MPEG-2.

En la figura 27 se observa el resultado del proceso de *adaptación y dispersión de energía del flujo de transporte*.

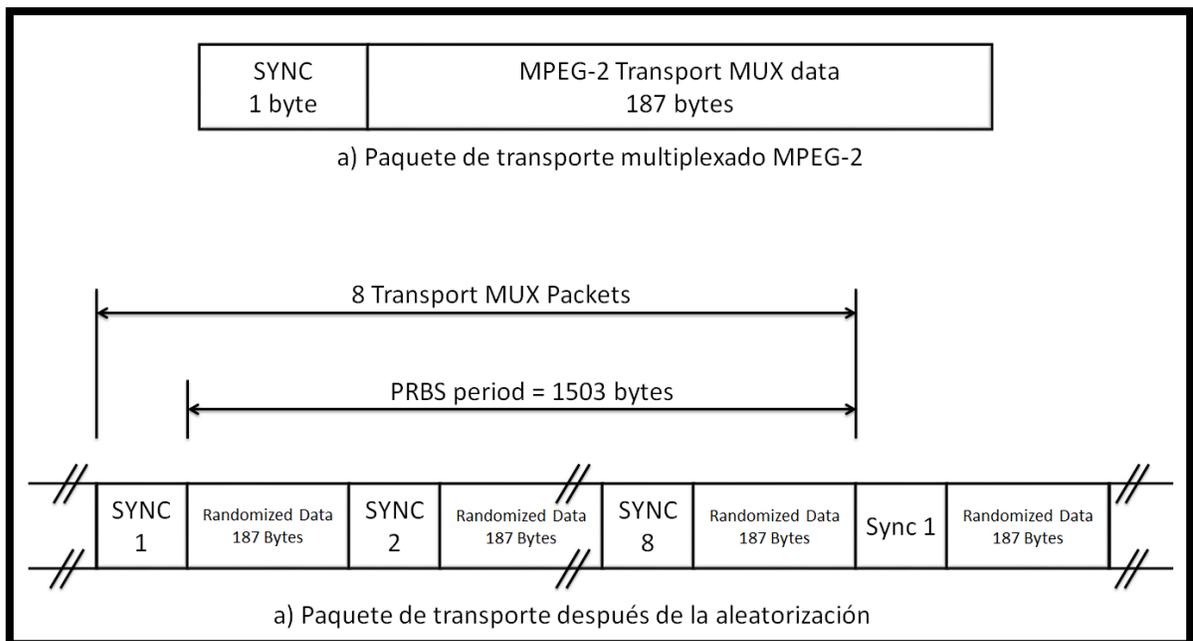


Figura 27 Resultado de la adaptación y dispersión de energía del TS MPEG-2.

2.3.19. Codificación Externa (Reed-Solomon) y Entrelazado Externo (Forney).

Para el proceso de *corrección de errores* (FEC) n recepción, es necesario introducir cierta redundancia en la estructura de paquetes de transporte, esto es lo que se conoce como *codificación*.

La codificación *externa* es empleada en todos los estándares de DVB y es complementada con la *interna* esta es usada en el los estándares de transmisión DVB-S y DVB-T.

⁹ MSB: Bit mas significativo

Ahora bien la *codificación externa* usa el sistema *REED-Solomon* RS (204, 188, t=6), que en si es una versión corta de la original RS (255, 239, t=8), es aquí cuando se añaden 16 bytes de paridad a los 188 bytes iniciales de cada paquete de transporte, dando como resultado una longitud de 204 bytes. Bajo esta condición pueden ser corregidos hasta un total de 8 bytes erróneos.

La forma corta se hace añadiendo primero 51 bytes nulos delante de los 188 bytes de información, con lo que se completarían 239 bytes. En el momento que se pasa por el codificador RS (255, 239, t=8) se añaden los 18 bytes de paridad para un total de 255 bytes, posteriormente se eliminan los 51 bytes nulos lo que resulta 204 bytes para cada paquete de transporte.

En la figura 28 se muestra el paquete de transporte después del proceso de *codificación y entrelazado externo*, este tipo de combinación favorece la corrección de errores de tipo ráfaga que son introducidos por el canal de transmisión.

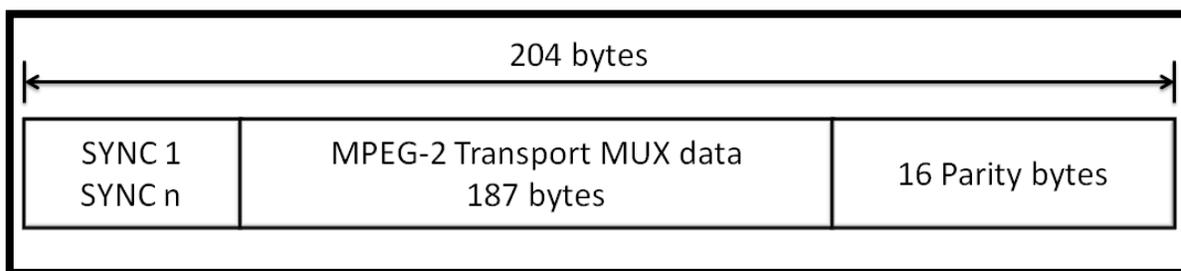


Figura 28 Resultado de la codificación Reed Solomon y entrelazado convolucional.

El concepto de *entrelazado convolucional* es representado a través de la figura 28, relativo al byte y con una profundidad $l=12$, a la que son sometidos los datos que han sido protegidos previamente con la codificación externe.

En el proceso de entrelazado es basado en la aproximación de Forney, que es compatible con la de Ramsey tipo III, con $l=12$. Los bytes de datos entrelazados, pertenecientes a los paquetes de transporte protegidos, son delimitados por los bytes de sincronización MPEG-2, que no sufren ningún tipo de alteración. Se entiende que la periodicidad de 204 bytes de los paquetes de transporte no cambia.

El *Entrelazador* está compuesto de $l=12$ ramas, que se conectan cíclicamente al flujo de entrada mediante un conmutador de entrada. Cada rama j representa un registro de desplazamiento *First-In, First-Out* (FIFO) con una profundidad de $j \times M$ células, donde:

$$M = 17 = N/l; \quad \text{siendo: } N = 204$$

En los conmutadores de entrada y salida, que avanzan un paso por cada byte de datos, deben estar sincronizados. Los bytes de sincronismo (SYNC) tanto invertidos como no

invertidos, para ser localizados, deben ser siempre ruteados por la rama 0 del entrelazador, la cual se define a retardo nulo.

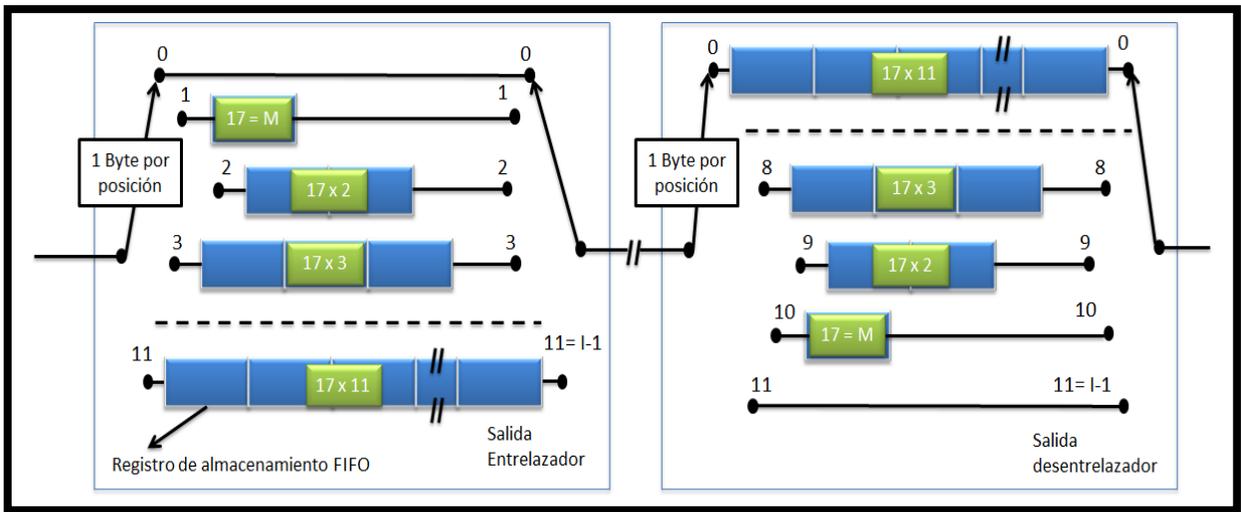


Figura 29. Diagrama conceptual del entrelazador y descentrelazador convolucional externo

Al final del proceso de entrelazado cada byte de los paquetes de transporte se encuentra desplazado en tiempo un número de posiciones igual a $j \times 17$, y con esto los bytes originales de cada paquete quedan repartidos entre los paquetes consecutivos.

El descentrelazador maneja un principio equivalente al entrelazador, con excepción que los índices de las tramas están invertidos, $j=0$ que corresponde con el máximo retardo. Dicha sincronización se obtiene cuando se en ruta el primer byte SYNC hacia la trama 0.

Como se observó en la figura 29 a la salida del descentrelazador cada byte se retarda $(11-j) \times 17$ posiciones, con lo que se obtiene un retardo total entre TX y RX de $(j+11-j) \times 17 = 187$, este valor es idéntico para todos los bytes con lo que es posible la recuperación al original.

Todo este proceso reduce errores por ráfagas que se introducen por el canal de transmisión, ya que después de que se reordenan los datos en el receptor, se introducen errores entre los paquetes sucesivos, lo que al final favorece a que no se excedan los límites en los que la codificación Reed Solomon puede recuperar la información inicial.

2.3.20. Codificación Interna (Convolucional)

Luego del proceso de codificación y entrelazado de externos, los datos son sometidos a un nuevo proceso de codificación y entrelazado figura 29. La *codificación interna* es de tipo convolucional y es complementada mediante un proceso de *perforado*, de donde se obtienen diferentes modos de transmisión que dependen del esquema de perforado.

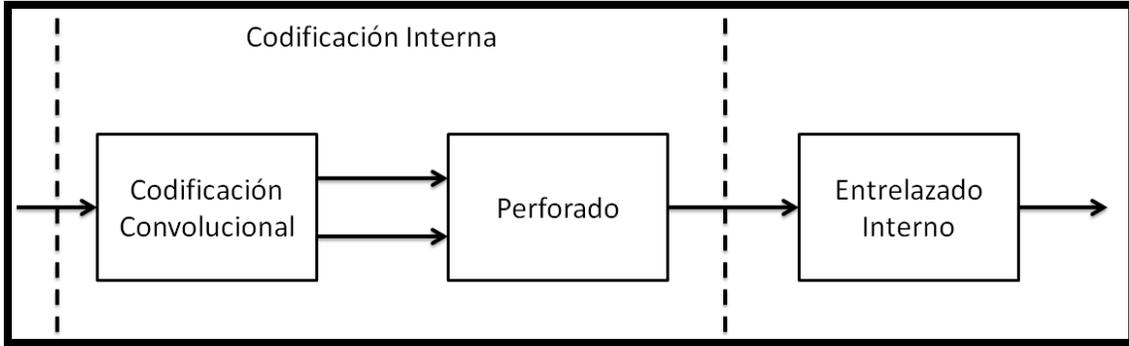


Figura 30. Codificación Interna y entrelazado interno.

El *codificador convolutiva*, es mostrado en la figura 30, es un esquema básico de este sistema en donde se usa una relación de $\frac{1}{2}$ con 64 estados ($K=7$ tomas), en la cual se basa este mecanismo.

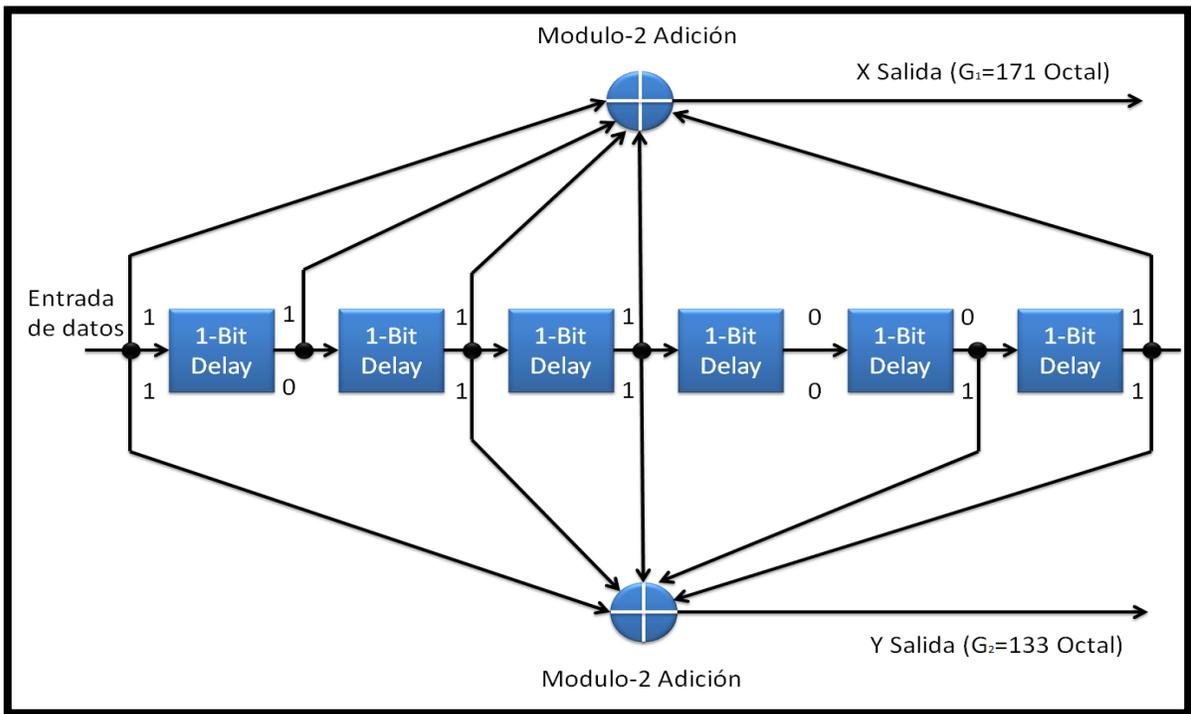


Figura 31. Codificador convolutiva de relación 1/2.

En la figura 31, se observa un codificador de frecuencia que erróneamente se llama *viterbi* debido al algoritmo que se usa en recepción, está orientado al bit y está compuesta de dos salidas (X, Y), el flujo original de datos es combinado (sumas módulo-2) entre los datos de entrada con los obtenidos en las tomas que se sitúan detrás de una serie de registros de desplazamiento.

La gran redundancia que se obtiene del codificador de relación $\frac{1}{2}$, hace muy potente la corrección de errores cuando son aleatorios, esto sucede ya que se asocia a una baja relación señal/ruido del canal usado, pero se reduce a la mitad la capacidad del canal.

Para que no se limite tanto la capacidad de canal, el sistema hace una selección para que se transmitan solo algunos de los datos que se obtienen en las salidas X & Y, los cuales se convierten posteriormente a una secuencia en serie, este proceso se le denomina como *perforado* este se observa esquemáticamente en la figura 32.

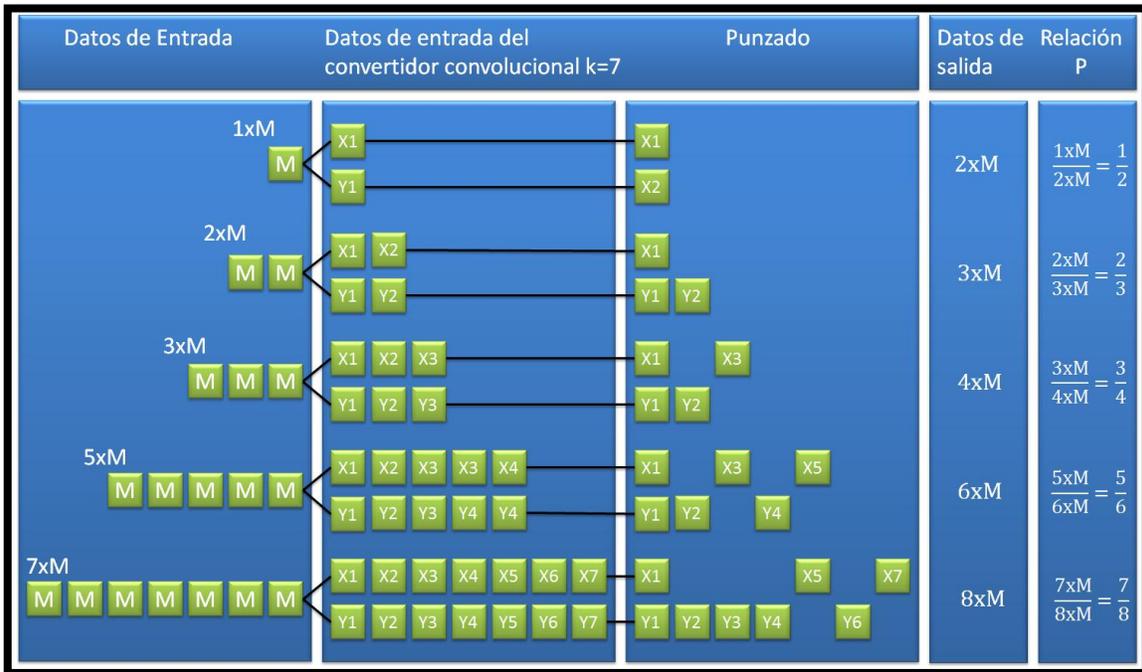


Figura 32. Codificación interna. Esquema de perforado y secuencia transmitida en formato paralelo.

Entonces dependiendo del esquema se tiene:

- ✓ 1xM datos de entrada se convierten en 2xM datos de salida en el caso de relación de $\frac{1}{2}$.
- ✓ 2xM datos de entrada se convierten en 3xM datos de salida en el caso de relación de $\frac{2}{3}$.
- ✓ Así sucesivamente hasta una relación de $\frac{7}{8}$.

Se intuye que la protección contra errores es menor en valores altos de la relación de codificación, pero aumenta la capacidad de canal. El valor más adecuado en un caso práctico dependerá del área de cobertura deseada para una potencia de Tx determinada.

Para el caso de transmisiones vía satélite (DVB-S), en el que se usa un esquema de modulación QPSK, se aplica *codificación interna* y se incluye el proceso de perforado, pero

se excluye el de *entrelazado interno*, y se mantienen las salidas del codificador interno en paralelo, las cuales van directamente al modulador QPSK. (No se pasan a formato serie).

Ahora bien para el caso de transmisión vía cable (DVB-C), en el que el esquema de modulación es 64QAM, no se usa codificación ni entrelazado interno, los datos a la salida del codificador y entrelazado externo, (previa conversión del tren de bits en serie a 2 señales I y Q en paralelo "mapeado"), van directamente al modulador.

2.3.21. Entrelazado Interno

Está compuesto por un primer proceso de entrelazado relativo al bit, posteriormente por un entrelazado de símbolos. Estos están basados en bloques, y se orientan al tamaño de los símbolos, de donde se establecen las funciones de modulación (constelación) que será utilizada para modular el conjunto de portadoras. De esta forma los símbolos contienen 2 bits en QPSK, 4 bits en 16QAM y 6 bits en 64QAM.

En la figura 32 se observa un entrelazador interno que tiene las siguientes características:

- ✓ Un demultiplexador que transforma el flujo de entrada en v subflujos.
- ✓ v entrelazadores de bits, de un tamaño de 126 bits.
- ✓ Un entrelazador de símbolos en un tamaño de 1.512 (modo 2K) o 6.048 (modo 8K).

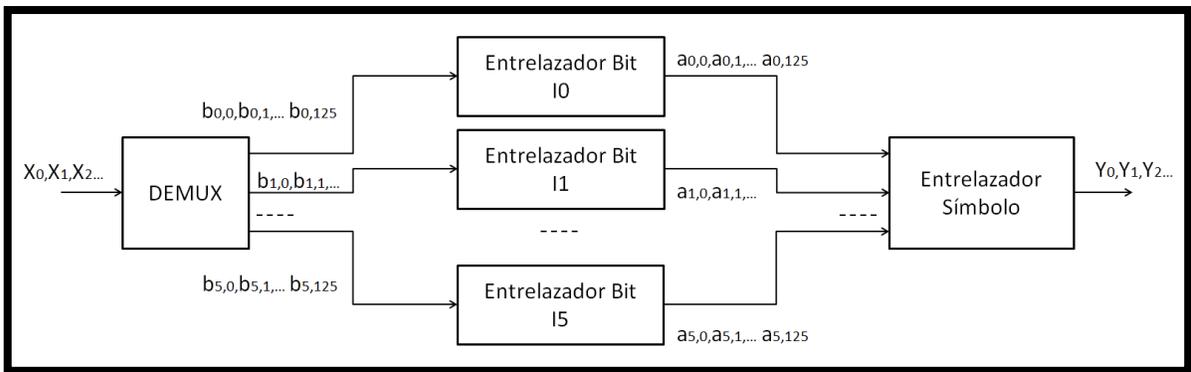


Figura 33. Entrelazador Interno.

El demultiplexador a partir del flujo de entrada genera subflujos, asignando los bits de entrada como se indica a continuación:

- ✓ QPSK: $X_0 \rightarrow b_{0,0}$
 $X_1 \rightarrow b_{1,0}$
- ✓ 16QAM: $X_0 \rightarrow b_{0,0}$
 $X_1 \rightarrow b_{1,0}$
 $X_2 \rightarrow b_{2,0}$
 $X_3 \rightarrow b_{3,0}$

- ✓ 64QAM: $X_0 \rightarrow b_{0,0}$
- $X_1 \rightarrow b_{1,0}$
- $X_2 \rightarrow b_{2,0}$
- $X_3 \rightarrow b_{3,0}$
- $X_4 \rightarrow b_{4,0}$
- $X_5 \rightarrow b_{5,0}$

Después de este proceso, cada subflujo es procesado por separado en un entrelazador de bits. Por lo tanto para una constelación de QPSK hay 2 entrelazadores de bits (I0 e I1), para 16QAM hay 4 (I0 a I3) y para 64QAM hay 6 (I0 a I5).

2.3.22. Entrelazado de bits

Este proceso es realizado por bloques y solo se actúa sobre los datos útiles. El tamaño de los bloque es de 126 bits para todos, aunque la secuencia varía entre algunos entrelazadores. Por ende se repite este proceso un número exacto de veces por cada símbolo OFDM tanto si se usa 2k y 8k.

	Modo 2k	Modo 8k
Nº de portadoras activas para datos	1.512	6.048
Bits totales por símbolo OFDM	$v \times 1.512$	$v \times 6.048$
Nº de entrelazadores de bit	v	v
Repetición del entrelazado (Nº de veces por símbolo OFDM)	$(v \times 1.512) / (v \times 126) = 12$	$(v \times 6.048) / (v \times 126) = 48$

Tabla 6. Entrelazado de bits.

Con ello los bloques de entrada se componen de:

$$B(e) = (b_{e,0} \ b_{e,1} \ b_{e,2} \ \dots \ b_{e,125}) \text{ donde } e \text{ va de } 0 \text{ a } v-1$$

Los bloques de salida de cada entrelazador se componen de:

$$A(e) = (a_{e,0} \ a_{e,1} \ a_{e,2} \ \dots \ a_{e,125})$$

Ahora bien la relación entre los dos bloques de entrada y salida es:

$$a_{e,w} = b_{e,H_e(w)} \text{ donde } w \text{ va de } 0 \text{ a } 125$$

Donde $H_e(w)$ cambia según el entrelazador:

Entrelazador I0: $H_0(w) = w$
 Entrelazador I1: $H_1(w) = (w + 63) \bmod 126$

Entrelazador I2: $H_2(w) = (w + 105) \bmod 126$
 Entrelazador I3: $H_3(w) = (w + 42) \bmod 126$
 Entrelazador I4: $H_1(w) = (w + 21) \bmod 126$
 Entrelazador I5: $H_5(w) = (w + 84) \bmod 126$

Las salidas de los v entrelazadores son agrupados para formar palabras (y'_w) de v bits, de esta manera se toma cada vez un único bit de la salida de cada uno de los entrelazadores, que corresponde al bit más significativo a la salida de I0, donde:

$$y'_w = (a_{0,w} a_{1,w} a_{2,w} \dots a_{v-1,w})$$

2.3.23. Entrelazado de símbolos

Este proceso se realiza bajo las anteriores palabras y'_w conteniendo en cada una de ellas v bits, de forma que el entrelazador que agrupado en bloque, donde su tamaño se calcula para que estos datos puedan ser distribuidos directamente entre las 1.512 (modo 2k) o 6.048 (modo 8k) portadoras que posee cada símbolo OFDM.

Como se observó en la figura 32, las palabras a la salida de los entrelazadores de bits (y'_w) se agrupan para formar los vectores Y' , dependiendo del modo de transmisión:

Modo 2K	Modo 8K
12 conjuntos de 126 palabras (1.512 palabras)	48 conjuntos de 126 palabras (6.048 palabras)
$Y' = (y'_0 y'_1 y'_2 \dots y'_{1511})$	$Y' = (y'_0 y'_1 y'_2 \dots y'_{6047})$

Tabla 7. Entrelazado de símbolo.

Estos vectores Y' a la entrada del entrelazador son convertidos a vectores entrelazados Y como se ve en la figura 33.

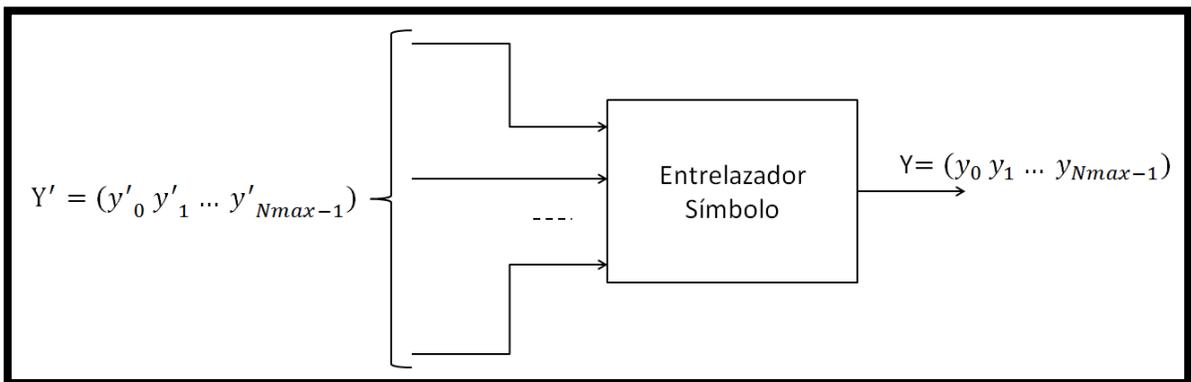


Figura 34 Proceso de obtención de vectores entrelazados Y

2.3.24. Mapeado de los símbolos

Cada una de las palabras y_q pertenece al vector de salida Y del entrelazador de símbolos:

$$y_q = (y_{0,q} y_{1,q} y_{2,q} \dots y_{v-1,q})$$

Donde: $0 \leq q' \leq 1.511$ en modo 2K
 $0 \leq q' \leq 6.047$ en modo 8K

Los v bits de la palabra número q' se modula con un esquema de modulación que corresponde al valor de v , la portadora q' de las portadoras activas para los datos que contiene cada símbolo OFDM.

Por ello es necesario mapear en dos señales que se denominan I y Q el flujo a la salida del entrelazado de símbolos, en un punto concreto de la constelación ($n + jm$).

La distribución de los bits en las señales I y Q se hace de acuerdo a la tabla 6.

Constelación	Bits Entrada (y_q)	Bits Salida I	Bits Salida Q
QPSK	$Y_{0,q}, Y_{1,q}$	$Y_{0,q}$	$Y_{1,q}$
16QMA	$Y_{0,q}, Y_{1,q}, Y_{2,q}, Y_{3,q}$	$Y_{0,q}, Y_{2,q}$	$Y_{1,q}, Y_{3,q}$
64QAM	$Y_{0,q}, Y_{1,q}, Y_{2,q}, Y_{3,q}, Y_{4,q}, Y_{5,q}$	$Y_{1,q}, Y_{3,q}, Y_{5,q}$	$Y_{0,q}, Y_{2,q}, Y_{4,q}$

Tabla 8 Distribución de bits en señales I, Q.

Por ejemplo si se emplease una modulación de 16QAM, los 4 bits componen las palabras y_0, y_1, y_2, y_3 , y su distribución se puede ver en la figura 35.

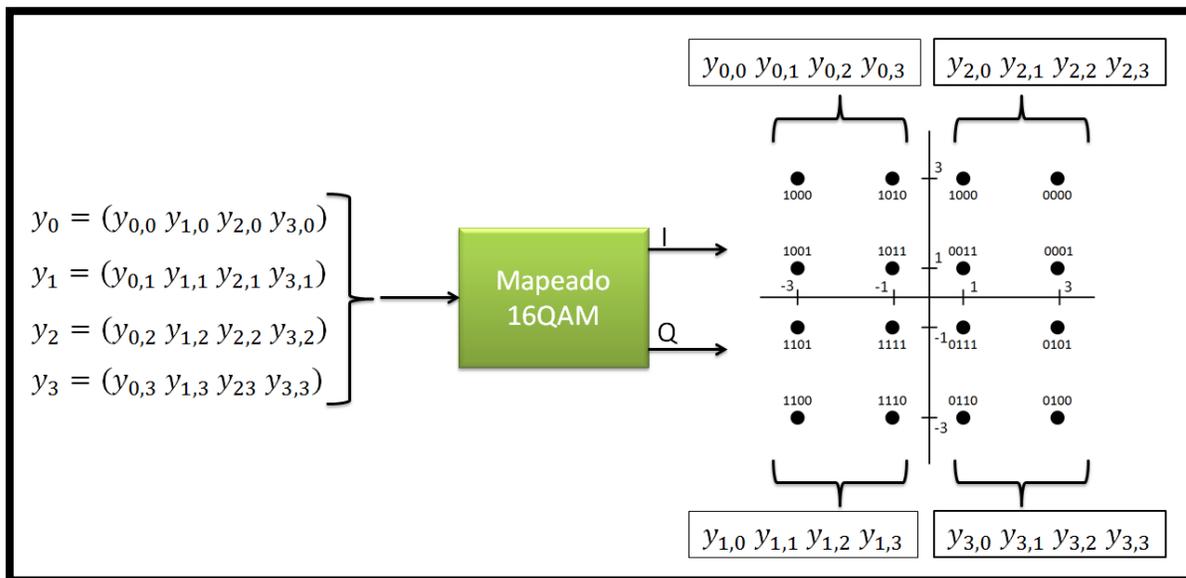


Figura 35 Proceso de mapeado para constelación 16QAM.

Si por ejemplo la palabra y_0 estuviese formada por **1010**, con relación a la constelación 16QAM le correspondería el punto $-1+j3$, de tal forma que al flujo I le corresponde el valor **-1** y el flujo Q el valor **3**. Figura 35. [23]

2.3.25. Organización de la señal en tramas

En el proceso de mapeado se tienen bloques en el modo 2k y 8k de símbolos en formato I, Q, dependiendo del sistema de modulación que se emplee. Estos símbolos contienen información de la trama de transporte más la redundancia que se añade por el proceso de codificación de canal.

Estos símbolos (1.512 o 6.048) en el formato I, Q, se usan para la modulación en cuadratura. En esta etapa se añaden a símbolos que contienen información interna que son usados para la sincronización interna del receptor, la regeneración del canal en amplitud y fase y se encargan de proporcionar información acerca de parámetros que corresponden al esquema de transmisión empleado.

La señal transmitida incluye además de las portadoras de datos otras que se explican a continuación:

- ✓ **Portadoras Piloto Continuas**¹⁰: Sincronización del receptor en frecuencia y fase.
- ✓ **Portadoras Piloto Dispersas**¹¹: Regeneración del canal en amplitud y fase del receptor.
- ✓ **Portadoras TPS**¹²: Contienen información del esquema de transmisión empleado.

En la tabla 7 se encuentra en número portadoras que se asocian a una señal de transmisión en DVB-T para el modo 2k y 8k.

Portadoras	Modo 2K	Modo 8K
Continuas	45	177
Dispersas	131	524
TPS	17	68
Datos	1.512	6.048
Total	1.705	6.817

Tabla 9 Número de portadoras para DVB-T.

En este proceso se añaden los símbolos de información interna y se organiza la señal transmitida en varias tramas:

¹⁰ Continual Pilots

¹¹ Scattered Pilots

¹² Transmission Parameter Signalling

- ✓ **Trama:** Tiene una duración de T_F , contienen 68 símbolos OFDM, que son enumerados de 0 a 67. Por lo tanto: $T_F = 68 \times T_S$.
- ✓ **Súper-Trama:** Contiene 4 tramas tanto en el modo 2K como 8K.
- ✓ **Mega-Trama:** Contiene 32 tramas en el modo 2K y 8 tramas en el modo 8K.

En la figura 36 se ve que los símbolos que corresponde a la información interna son modulados en DBPSK¹³, aunque con amplitudes diferentes.

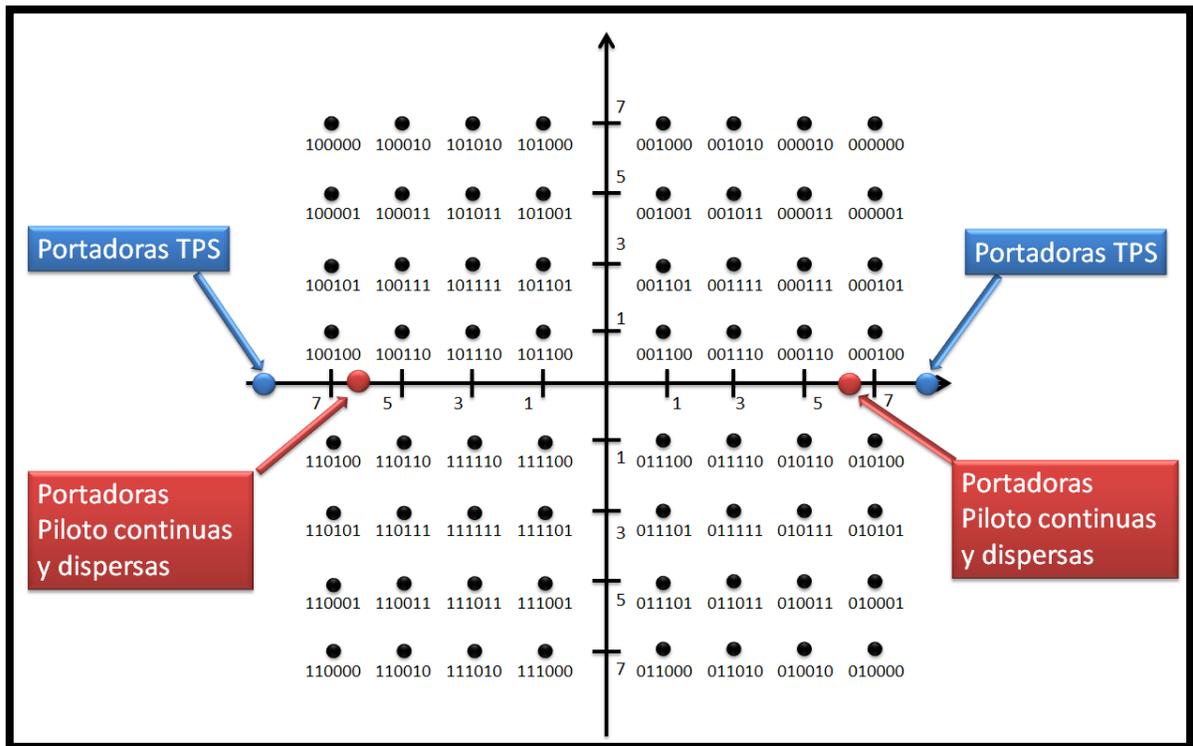


Figura 36 Constelación 64QAM con portadoras pilotos y continuas.

Las portadoras Piloto Continuas y dispersas son moduladas con una información (Información de referencia) la cual se deriva de una secuencia binaria pseudoaleatoria.

Para cada portadora piloto continua, su posición debe coincidir con una portadora piloto dispersa cada 4 símbolos como se observa en la figura 37.

¹³ Modulación por desplazamiento diferencial de fase

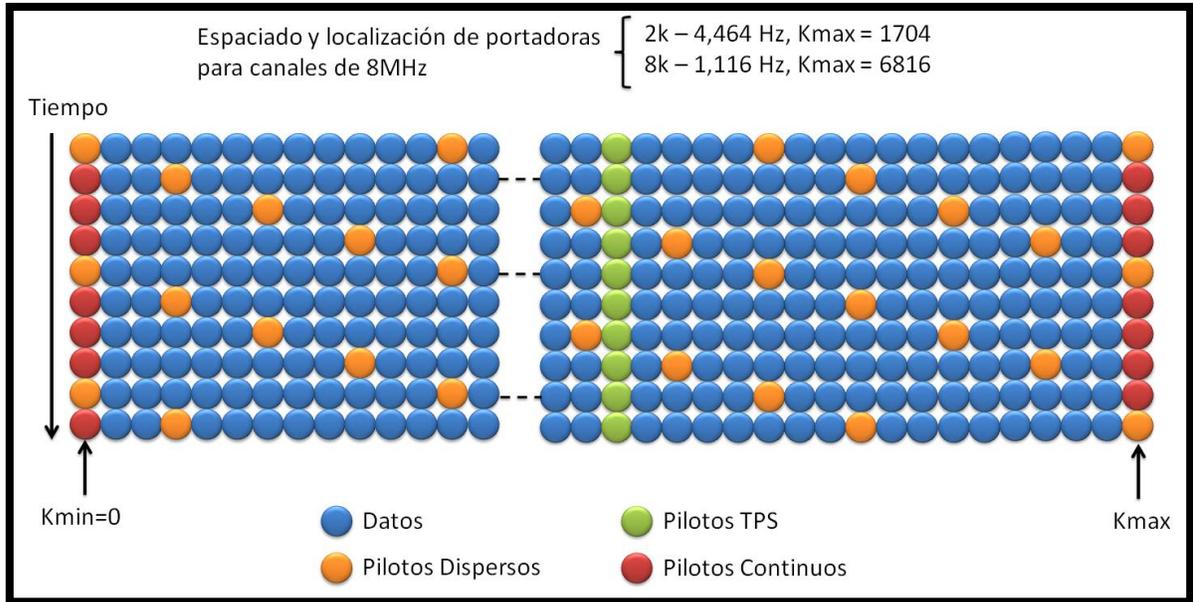


Figura 37. Espacio y localización de portadoras para canales de 8MHz.

Las portadoras dispersas tienen entre sí una separación de 12 posiciones y ocupan la posición 0 en todos los símbolos OFDM numerados 0, 4, 8, 12, 16...

Ahora bien las portadoras TPS se utilizan para señalar los parámetros del esquema de transmisión empleado, en ellas se informa lo relacionado a la codificación de canal y el tipo de modulación empleada. Estas portadoras son transmitidas en paralelo.

En la tabla 10 se observan los índices de posición que ocupan las portadoras TPS en cada símbolo para los modos de 2k y 8k.

Modo 2K					Modo 8K							
34	50	209	346	413	34	50	209	346	413	569	595	688
569	595	688	790	901	790	901	1073	1219	1262	1286	1496	1594
1073	1219	1262	1286	1469	1687	1738	1754	1913	2050	2117	2273	2299
1594	1687				2392	2494	2605	2777	2923	2966	2990	3173
					3298	3391	2442	3458	2617	2754	3821	3977
					4003	4096	4198	4309	4481	4627	4670	4694
					4877	5002	5095	5146	5162	5321	5458	5525
					5681	5707	5800	5902	6013	6185	6331	6374
					6398	6581	6706	6799				

Tabla 10. Índice de posición de las portadoras TPS.

Las portadoras TPS de un mismo símbolo OFDM transportan en mismo bit de información, esto para aumentar la robustez del sistema, y son agrupadas en bloques de 68 símbolos consecutivos. Entonces cada bloque de portadoras TPS contienen 68 bits que se distribuyen de la siguiente manera:

- ✓ 1 bit de inclinación
- ✓ 16 bits de sincronización
- ✓ 37 bits de información
- ✓ 14 bits redundantes para protección contra errores.

De estos 37 bits de información, solo son usados 23, los restantes se reservan para usos futuros y deben estar fijados a cero. Las portadoras TPS transportan la siguiente información: [22]

- ✓ Tipo de constelación (QPSK, 16QAM o 64QAM), incluyendo el valor del parámetro α , para modulaciones uniformes y no uniformes.
- ✓ Información sobre el tipo de transmisión (jerárquica o no jerárquica).
- ✓ Intervalo de guarda.
- ✓ Relación de codificación interna.
- ✓ Modo de transmisión 2k, 8k.
- ✓ Número de la trama dentro de la súper-trama¹⁴ correspondiente.

2.3.26. MODULACIÓN OFDM

En este proceso se modulan un conjunto de 1.705 (2k) o 6.817 (8k) como se observa en la figura 38.

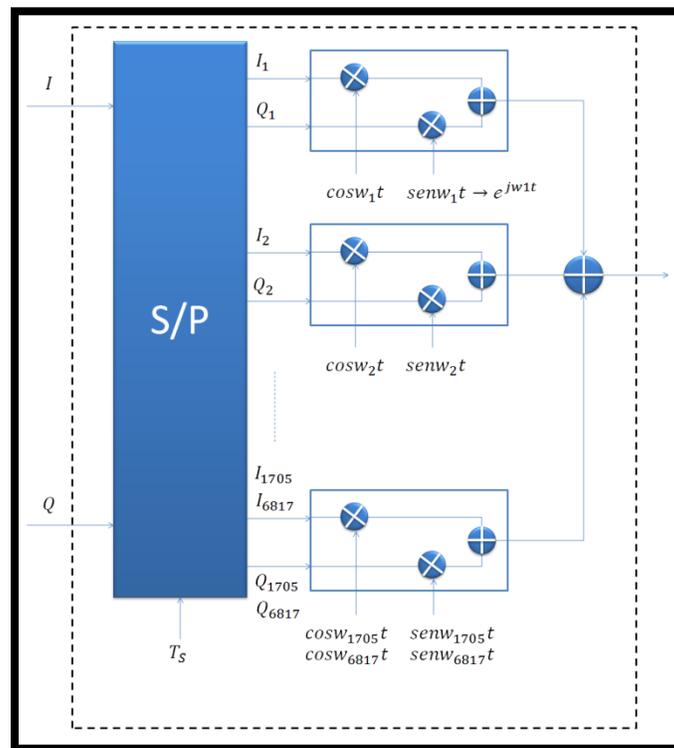


Figura 38. Proceso de modulación en cuadratura para los modos 2K y 8K.

¹⁴ Una súper-trama contiene 4 tramas

Al modular todas las portadoras se suman cada uno de los espectros particulares de cada una. Ver figura 39.

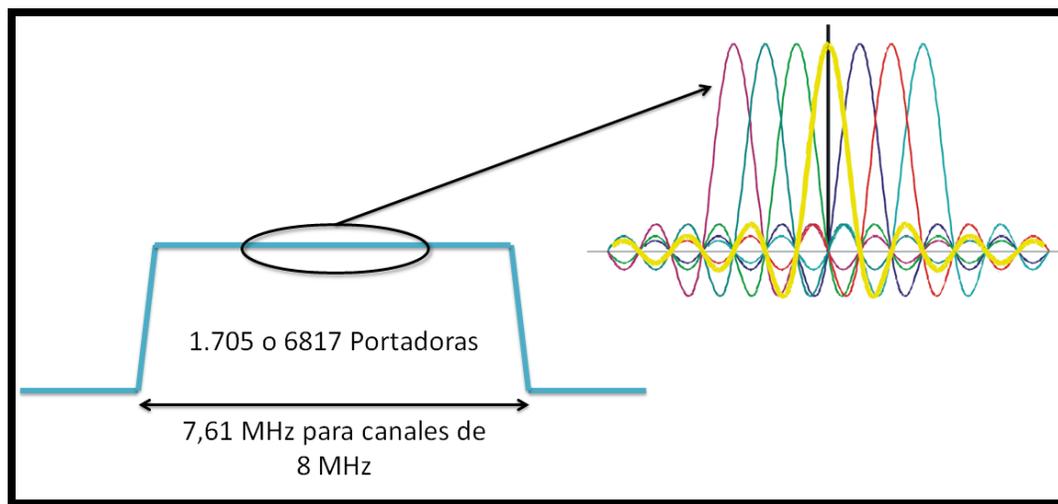


Figura 39. Espectro OFDM.

En el proceso de modulación de OFDM la velocidad de símbolo de cada portadora coincide con la distancia entre las portadoras. Esto se debe a que el espectro de una portadora en QPSK o 2^n -QAM contiene un nivel de potencia nulo a una distancia de la siguiente portadora que es igual a su velocidad de símbolo, por lo que se hace coincidir la siguiente portadora con este valor nulo, por ende la interferencia entre ellas es mínima.

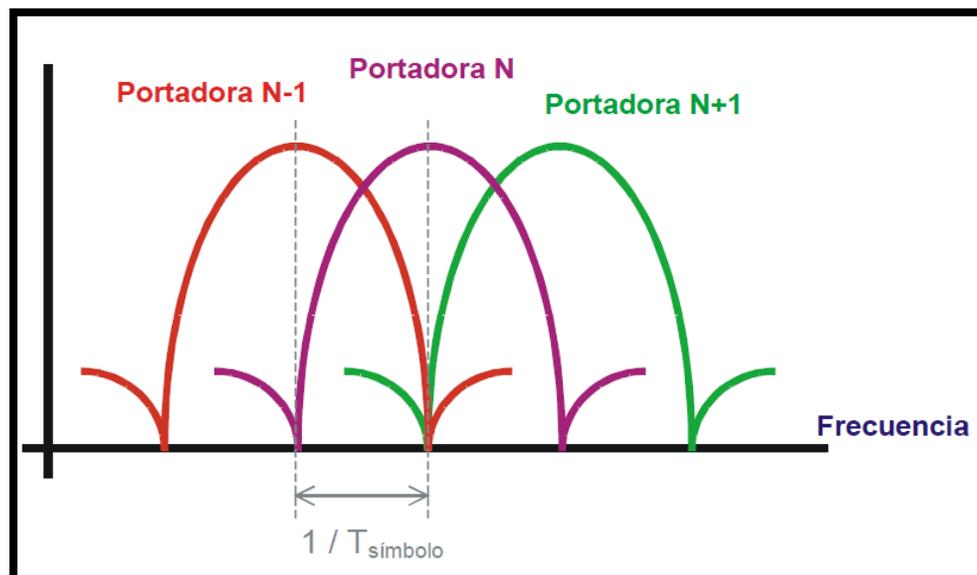


Figura 40.¹⁵ Espectro modulación OFDM portadoras adyacentes.

¹⁵ Imagen tomada de Manual de Prácticas EU-850

Para canales de 6 MHz se usa para la modulación OFDM un ancho de banda 5.5 MHz, que es lo que ocupan las portadoras útiles, por lo anterior la separación entre portadoras está definida por:

$$\text{Modo 8K: } \Delta f = \frac{5.5 \text{ MHz}}{(6817 - 1)} = 806 \text{ Hz}$$

$$\text{Modo 2K: } \Delta f = \frac{5.5 \text{ MHz}}{(1705 - 1)} = 3227 \text{ Hz}$$

De esta forma la duración de los símbolos, para evitar interferencias debe ser de:

$$\text{Modo 8K: } T_{\text{símbolo}} = \frac{1}{\Delta f} = \frac{1}{806 \text{ Hz}} = 1240 \mu s$$

$$\text{Modo 2K: } T_{\text{símbolo}} = \frac{1}{\Delta f} = \frac{1}{3227 \text{ Hz}} = 309 \mu s$$

Este proceso se efectúa con la transformada inversa de Fourier (IFFT) la cual proporciona el mismo resultado como si se modulaban en paralelo las 1705 o 6817 portadoras. Después de este proceso se obtiene una señal compleja en dominio temporal, que consta de una señal real y otra imaginaria.

2.3.27. Inserción Intervalo de Guarda

Después del proceso de modulación OFDM, que fue implementado a través de la IFFT, que fortalece la señal que será transmitida frente a los ecos que se producen, es necesario añadir un tiempo de guarda Δ (intervalo de guarda) que amplía la duración de los símbolos de esta forma la duración de total del símbolo es:

$$T_s = \Delta + T_u$$

Por ejemplo si la señal que se recibe proviene de dos caminos diferentes con un retardo relativo entre ellas y es inferior al intervalo de guarda, coincidirá la información que se recibe dentro del tiempo útil del símbolo OFDM de la señal principal. Ver figura 41.

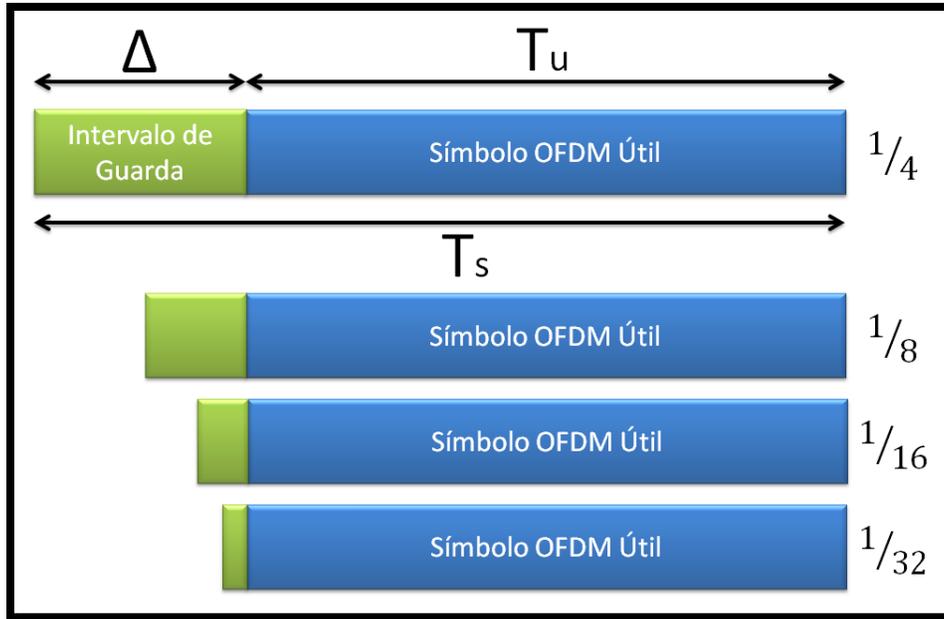


Figura 41. Inserción del intervalo de guarda.

Los valores referidos al intervalo de guarda, son medidos en fracciones de la duración útil del símbolo:

$$\Delta/T_u \rightarrow 1/4 \rightarrow 1/8 \rightarrow 1/16 \rightarrow 1/32$$

Para la siguiente tabla se observan los valores numéricos que adquieren los parámetros anteriormente descritos para una canal de 8 MHz, tanto para el modo 8K y 2K.

Parámetros	Modo 8K	Modo 2K
Número de portadoras K	6.817	1.705
Valor de la portadora número Kmín	0	0
Valor de la portadora número Kmáx	6.816	1.704
Duración Tu	896 μ s	224 μ s
Espacio entre portadoras; $1/T_u$	1.116 Hz	4.464 Hz
Espacio entre portadoras Kmín y Kmáx; $(K-1)/T_u$	7,61 MHz	7,61 MHz

Tabla 11. Valores numéricos para los parámetros OFDM en los modos 8K y 2K para canales de 8 MHz.

	Modo 8K				Modo 2K			
Intervalo de Guarda	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Duración Útil del Símbolo	896 μ s				224 μ s			
Duración de la Guarda	224 μ s	112 μ s	56 μ s	28 μ s	56 μ s	28 μ s	14 μ s	7 μ s
Duración Total del Símbolo	1.120 μ s	1.008 μ s	952 μ s	924 μ s	280 μ s	252 μ s	238 μ s	112 μ s

Tabla 12. Duración de la parte de símbolo para los intervalos de guarda en canales de 8 MHz.

En las figuras 42 y 43 se ilustra la disposición de las portadoras en tiempo y frecuencia antes y después de la inserción del intervalo de guarda.

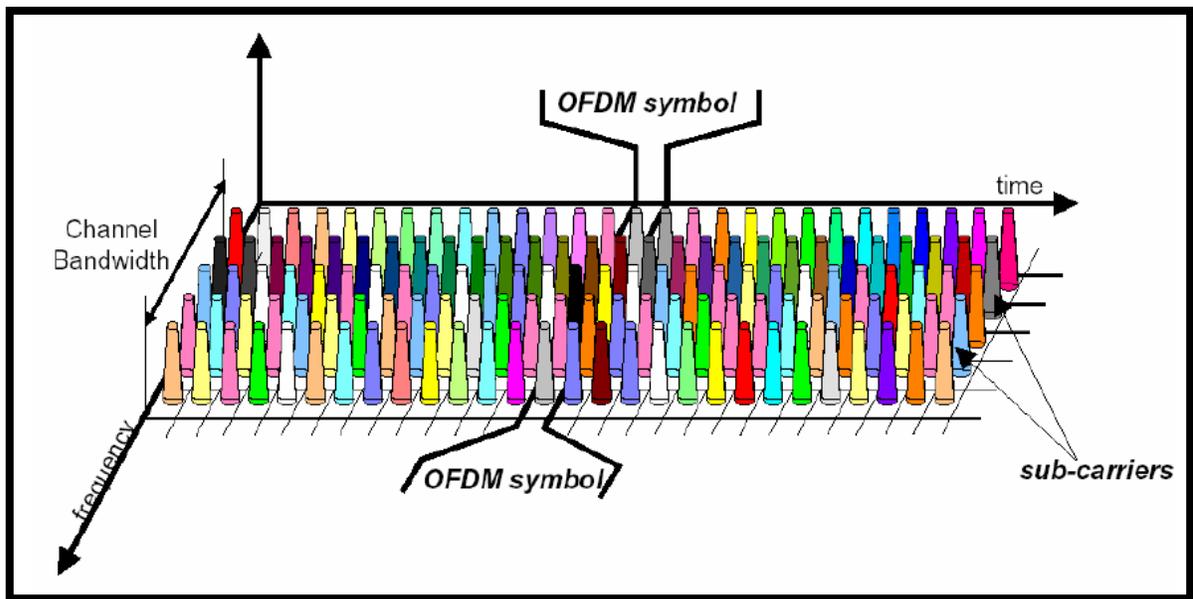


Figura 42.¹⁶ Distribución de las portadoras en tiempo y frecuencia.

¹⁶ Imagen tomada de documento Transmisión de señales de TV digital en el estándar terreno DVB-T

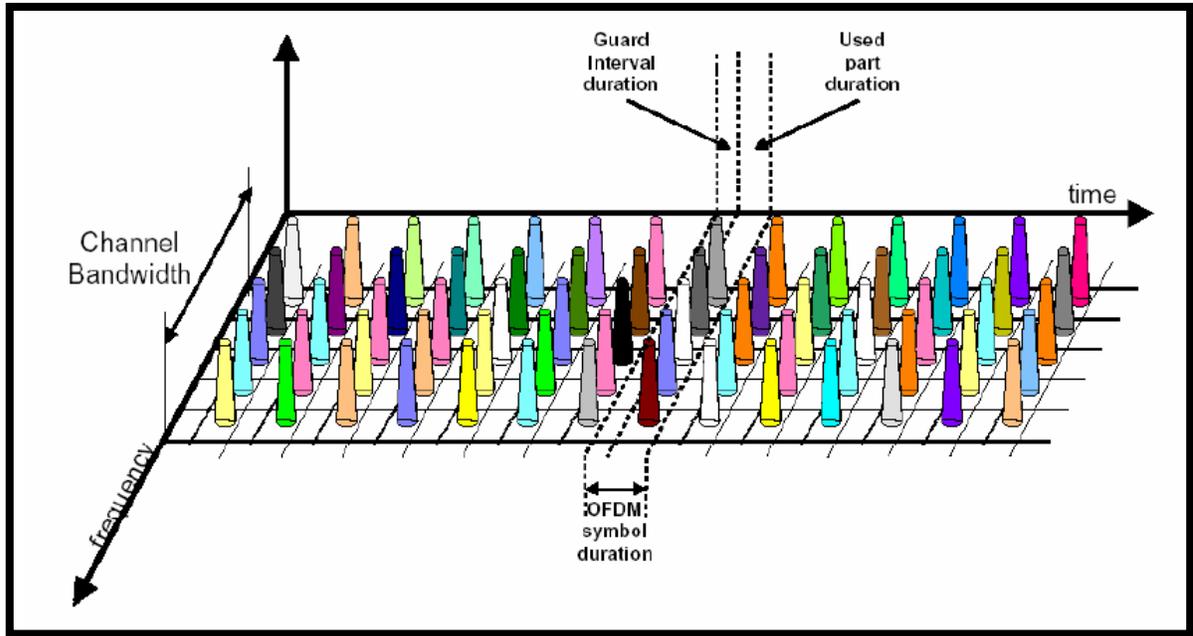


Figura 43¹⁷. Inserción del Intervalo de Guarda.

2.3.28. Relación entre Bitrate, Symbol Rate y Ancho de Banda

Es claro que el modo 2K consta de 1.705 portadoras en cada símbolo OFDM y el modo 8K tiene 6.817 portadoras, pero no todas estas están moduladas por los datos que provienen de la codificación del canal.

Como se describió antes, solo 1.512 portadoras en modo 2K y 6.048 en 8K se utilizan para transportar datos.

Ahora bien se identifica como BR_T al flujo binario total que es transportado por las portadoras útiles para datos, este flujo está dado por:

$$BR_T = \frac{1}{T_{TOTAL\ SIMBOLO}} \times V \times L = \left[\frac{1}{(\Delta + T_U)} \right] \times V \times L \quad (bits/seg)$$

Donde:

- Δ : Duración intervalo de guarda del símbolo OFDM
- T_U : Duración útil del símbolo OFDM
- V: N° de bits/portadora (función del esquema de modulación)
- L: N° de portadoras activas para datos

Ahora bien la capacidad del canal o el flujo binario útil BR_U resulta de descontar del flujo binario total las redundancias que están incluidas en la codificación interna y en la codificación Reed-Solomon:

¹⁷ Imagen tomada de documento Transmisión de señales de TV digital en el estándar terreno DVB-T

$$BR_U = BR_T \times P \times \frac{188}{204} \quad (\text{bits/seg})$$

Donde:

P: Relación de codificación interna (code rate)
 188/204: Constante para la codificación Reed-Solomon

A continuación se desarrolla un ejemplo para una transmisión en modo 8K, relación de codificación (code rate) 2/3, intervalo de guarda ¼ y constelación 64-QAM, para un canal de 8 MHz se tienen los siguientes cálculos:

✓ *Duración del símbolo OFDM:*

Con relación a la tabla 10 la duración útil del símbolo OFDM en el modo 8K es de 896 µs, por lo tanto:

$$T_{\text{TOTAL SIMBOLO}} = \Delta + T_U = \left(\frac{1}{4} + 1\right) \times 896 \mu\text{s} = 1.120 \mu\text{s}$$

✓ *Nº Bits portadora:*

Es bien sabido que cada símbolo que procede del Entrelazador de símbolos se modula en 64-QAM, por ende cada portadora transportará 6 bits:

$$2^V = 64 \rightarrow V = 6 \text{ bits/portadora}$$

✓ *Nº de portadoras activas:*

Ahora bien el modo 8K consta de 6.817 portadoras de las cuales 769 transportan información de carácter interno, entonces:

$$L = 6.817 - 769 = 6.048 \text{ portadoras activas}$$

Al identificar los datos anteriores se obtiene el flujo binario total:

$$BR_T = \frac{1}{T_{\text{TOTAL SIMBOLO}}} \times V \times L = 892,85 \times 6 \times 6.048 = 32,4 \text{ Mbits/s}$$

Finalmente tendremos el flujo binario útil:

$$BR_U = BR_T \times P \times \frac{188}{204} = 32,4 \times 10^6 \times \frac{2}{3} \times \frac{188}{204} = 19,90588 \text{ Mbits/s}$$

En este flujo de 19,9 Mbit/s están incluidos todos los servicios digitales (televisión, radio, datos...).

En la siguiente tabla se muestra la capacidad del canal, en función del intervalo de guarda, relación de codificación y la constelación, para transmisiones en 8 MHz (no afecta el modo de transmisión 2K u 8K).

Modulación	Code Rate	Bitrate Útil			
		Intervalo de Guarda			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4,98	5,53	5,58	6,03
	2/3	6,64	7,37	7,81	8,04
	3/4	7,46	8,29	8,78	9,05
	5/6	8,29	9,22	9,76	10,05
	7/8	8,71	9,68	10,25	10,56
16-QAM	1/2	9,95	11,06	11,71	12,06
	2/3	13,27	14,75	15,61	16,09
	3/4	14,93	16,59	17,56	18,1
	5/6	16,59	18,43	19,52	20,11
	7/8	17,42	19,35	20,49	21,11
64-QAM	1/2	14,93	16,56	17,56	18,1
	2/3	19,91	22,12	23,42	24,13
	3/4	22,39	24,88	26,35	27,14
	5/6	24,88	27,65	29,27	30,16
	7/8	26,13	29,03	30,74	31,67

Tabla 13. Carga Útil en función del intervalo de guarda, modulación y tasa de codificación (8 MHz)

3. MARCO LEGAL.

3.1. Normas A nivel Nacional Estándar DVB-T

En este capítulo se observa una descripción de las normas y acuerdo que se tuvieron presente para la adopción del estándar DVB en Colombia.

Nombre	Numero de acuerdo	Fecha	Entidad	Ciudad
Proyecto por medio del cual se reglamenta la prestación del servicio público de televisión radiodifundida en tecnología digital terrestre – TDT		2011	Comisión nacional de televisión CNTV	Bogotá D.C.
Estudio del impacto de la actualización al estándar de televisión digital terrestre DVB-T2		2 de Agosto de 2011	Comisión nacional de televisión CNTV	Bogotá D.C.
Proyecto acuerdo por el cual se modifica el artículo 1 y 7 del acuerdo 8 de 2010 y se actualiza el estándar para la televisión digital terrestre en Colombia	Artículo 1 y 7 del acuerdo 8 de 2010	2010	Comisión nacional de televisión CNTV	Bogotá D.C.
Acuerdo por el cual se adopta para Colombia el estándar de televisión digital terrestre DVB-T y se establecen las condiciones generales para su implementación.	Acuerdo 8	22 de Diciembre de 2010	Comisión nacional de televisión CNTV	Bogotá D.C.
Acuerdo por medio del cual se establecen condiciones técnicas para la prestación del servicio de televisión radiodifundida en tecnología digital en Colombia.		4 de febrero de 2011	Comisión nacional de televisión CNTV	Bogotá D.C.

Tabla 14. Normas nacionales.

3.1.1. Acuerdo por medio del cual se reglamenta la prestación del servicio público de televisión radiodifundida en tecnología digital terrestre TDT – Comisión Nacional de Televisión (CNTV).

Por medio de este acuerdo la junta directiva de la comisión nacional de televisión se establece las condiciones básicas para la prestación del servicio de televisión radiodifundida en tecnología digital terrestre (TDT), permite avanzar en la transición de la televisión analógica a televisión digital terrestre, el acuerdo es sentenciado a todos los ejecutores del servicio público de televisión radiodifundida, constituye la clasificación de la televisión analógica y la televisión digital terrestre.

Define el significado de los diferentes términos que se utilizan normalmente en el proceso radiodifusión de la televisión digital terrestre, constituye aspectos técnicos planificación de frecuencias y multiplex digital.

Implanta los términos en el periodo de transición y fin de la radiodifusión de televisión analógica, por ultimo el acuerdo define la utilización del multiplex digital para los operadores sin ánimo de lucro, los contenidos que serán manejados por los diferentes operadores de televisión digital, precisa las condiciones y vigencia que debe mantener la prestación del servicio de televisión digital terrestre.

Para el proyecto estudio, diseño e implementación de material de ayuda para el laboratorio de televisión digital de la universidad militar nueva granada, el artículo en mención permite aclarar las condiciones y parámetros definidos con los cuales será implementada la televisión digital, así parametrizar las diferentes prácticas de laboratorio consignadas allí. [26]

3.1.2. Estudio del impacto de la actualización al estándar de televisión digital terrestre DVB-T2 - Comisión Nacional de Televisión (CNTV).

El estudio del impacto de la actualización de televisión digital terrestre DVB-T2, se basa en la adopción del estándar DVB-T el 28 de Agosto de 2008 junto al sistema de compresión MPEG-4, la junta directiva de la CNTV luego de mas de 3 años de la escogencia del estándar de televisión digital y viendo el grado de madurez obtenido decide realizar el estudio que permita definir aspectos económicos, técnicos y jurídicos para la actualización del estándar denominado DVB-T2.

Se analiza por medio del estudio las mejoras que se obtendrán con la actualización del estándar DVB-T2, teniendo como referencia la consulta realizada a la organización DIGITAG (Digital Terrestrial Television Action Group), la experiencia de los diferentes países que ya han efectuado la actualización, las capacidades, precios y características de los equipos que se deben modificar con la actualización del estándar.

Se recopila toda la información relacionada consecuente a la inversión requerida para saltar de DVB-T a DVB-T2, estudiando el impacto que produciría la actualización en operadores privados, públicos, locales. Por ultimo se resumen los resultados obtenidos de las pruebas técnicas en la ciudad de Bogotá.

El estudio realizado por parte de la Comisión Nacional de Televisión, permitirá dar un avance a las prácticas implementadas en este libro, debido a que los equipos soportan el nuevo estándar y permitirán analizar las diferentes características y del estándar DVB-T2 actualizando así también todo el contenido. [25]

3.1.3. Acuerdo 8 de 2010 por el cual se adopta para Colombia el estándar de televisión digital terrestre DVB-T y se establecen las condiciones generales para su implementación.

En el acuerdo 8 de 2010 establece la adopción del estándar digital terrestre DVB-T, con lapso de transición máximo al 31 de diciembre del 2019 fecha en la cual se realizaría el apagón analógico, teniendo presente que dicha fecha puede ser cambiada debido a los resultados obtenidos durante el proceso.

La televisión digital terrestre se debe radio difundir sin costo alguno y de la misma manera para todos los usuarios con una gran oferta de contenidos, la asignación de frecuencias será de 6MHz, se prohíbe la enajenación a terceros del espectro asignado, las licencias de televisión móvil son reservadas. La codificación de video será tomada de acuerdo a la recomendación de la UIT-T H.264.

El establecimiento del estándar de televisión digital terrestre DVB-T permite iniciar dar inicio al libro, cuyo análisis en cada uno de los diferentes materiales allí consignados permitirán evaluar las capacidades tecnológicas que entrega la televisión digital. [24]

3.1.4. Acuerdo por el cual se modifica el artículo 1 y 7 del acuerdo 8 de 2010 y se actualiza el estándar para televisión digital terrestre en Colombia.

Continuando con la fecha del 31 de diciembre de 2019 como término para el apagón de la televisión analógica, se incluye en este mismo lapso la actualización del estándar DVB-T a DVB-T2.

La junta directiva de la comisión nacional de televisión (CNTV) será el ente encargado de definir toda la reglamentación que se deba establecerá entorno a la actualización al estándar DVB-T2.

Dichas modificaciones afectan la consecución de la actualización del estándar DVB-T2 y por ende permiten la actualización del mismo en Colombia y ajustarían las prácticas enumeradas en este libro a una actualización futura. [27]

3.1.5. Acuerdo por medio del cual se establecen condiciones técnicas para la prestación del servicio de televisión radiodifundida en tecnología digital en Colombia.

Por medio del presente acuerdo se establecen las condiciones técnicas para la prestación del servicio de televisión radiodifundida en tecnología digital, se definen basadas en la canalización de 6 MHz las frecuencias disponibles, los transmisores que se deben utilizar en las estaciones de televisión digital serán del modo 8k, se utilizarán sistemas de transmisión no jerárquicos basados en la norma EN 300 774 Europea de telecomunicaciones.

En cuanto al sistema de codificación de video se define aplicar la norma internacional de telecomunicaciones UIT-T H.264, la cual también se aplicara para la configuración de video del multiplex digital, para la codificación de audio se establece la norma europea TS 101 154 la cual establece la codificación para los sistemas MPEG1 y MPEG2, la polarización de las antenas para los sistemas de transmisión que se utilizara la polarización horizontal.

En este acuerdo además de la aplicación de normas es establecen los lineamientos en cuanto a niveles de servicio, protección, interferencias, limites, interactividad, actualización de equipos en cuanto a software se refiere y parámetros de información en la prestación de servicios de Televisión Digital (TDT). [28]

3.2. Normas Internacionales estándar DVB-T

Nombre	Numero de acuerdo	Fecha	Entidad	Ciudad
Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television	ETSI EN 300 744 V1.5.1	Noviembre 2011	ETSI	Francia
SERIES H: Audiovisual and Multimedia Systems. Infraestructure of audiovisual services –Coding of Moving Video	ITU-T H.264	Junio de 2011	UIT	.
Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems	ETSI EN 300 468 v1.5.1	Mayo 2003	ETSI	Francia

Tabla 15. Normas internacionales.

3.2.1. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.

Esta norma describe el sistema de transmisión para televisión digital terrestre, y especifica la codificación de canal, el sistema de modulación destinados al multiprograma de servicios terrestres.

Generalidades:

- ✓ Identifica los requerimientos mínimos de rendimiento y las características globales, con el fin de cumplir con el objetivo de calidad.
- ✓ Especifica la señal modulada digitalmente con el fin de permitir la compatibilidad entre equipos desarrollados por diferentes fabricantes. [11]

3.2.2. SERIES H: Audiovisual and Multimedia Systems. Infrastructure of audiovisual services –Coding of Moving Video.

Esta norma representa la evolución de los estándares de Video de codificación existentes, fue desarrollado en respuesta de la creciente necesidad de una mayor compresión de imágenes en movimiento de diversas aplicaciones de comunicación, como videoconferencia, almacenamiento digital, **radiodifusión de televisión**, streaming de Internet entre otras. También está diseñada para permitir el uso de la representación de video codificada de forma flexible para una amplia variedad de entornos de red. El uso de esta recomendación, permite que el video de movimiento para ser manipulado como una forma de datos informáticos y que son almacenados en varios medios que se usan en sistemas de transmisión y recepción de redes existentes o futuras. [29]

3.2.3. Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems

Este documento especifica los servicios de información (SI), que forman parte de las cadenas de bits del estándar DVB, con el fin de que el usuario pueda estar provisto de información para ayudar a seleccionar los servicios y eventos dentro de la trama de transporte y es así que receptor de forma automática puede configurarse para el servicio seleccionado.

Este también genera una documentación de datos complementarios, proporcionado información adicional de la sincronización automática de los decodificadores, no se especifica la forma de presentación, pero cada fabricante tiene la libertad para elegir los métodos apropiados de ello. [17]

Los documentos completos de la normativa presentada se encuentran incluidos en el **Anexo C**.

4. INGENIERIA DEL PROYECTO

A continuación se definen bases teóricas en las cuales se basa el diseño de las guías de laboratorio planteadas en este documento, como tema principal se tiene el análisis y transmisión de la televisión digital, pero también se toman como referencia bases teóricas de propagación y otras que se presentan en enlaces satelitales, que permitieron analizar cada uno de los sistemas de transmisión que presenta Digital Video Broadcasting DVB (DVB-T, DVB-C y DVB-S) y darán una mayor certeza de los datos obtenidos en cada una de las diferentes prácticas.

4.1. Flujo binario total.

Debido a la necesidad de transmisión y tratamiento de imágenes que se presenta en la televisión se hace necesario mantener una buena velocidad de flujo binario, teniendo

presente que para alta definición se transmite en 1080p y 60 cuadros por segundo los cual demuestra que para la transmisión de alta calidad en el estándar DVB se necesita un flujo binario alto para poder transmitir dicha cantidad de cuadros por segundo.

$$BR_T = \frac{1}{T_{Total\ Símbolo}} \cdot v \cdot L$$

Ecuación 1. Flujo binario total.

$$f_s: \text{Frecuencia de los simbolos (Simbolo/Seg)} f_s = \frac{1}{T_s}$$

T_s : Duración del simbolo

v : # de bits portadora

L : # de portadoras activas para datos.

4.2. Flujo binario útil.

En el modo de transferencia asíncrono utiliza el flujo binario permite que la transferencia no sea de un bit a otro en posiciones fijas, las cuales generan que durante la transferencia de bits se transfieran bits innecesarios en el proceso, el flujo binario útil permite realizar conjuntos de información en los cuales solo se hace necesario leer su cabecera para establecer el conjunto completo de información.

$$BR_U = \frac{BR_T \cdot r \cdot 188}{204}$$

Ecuación 2. Flujo binario útil.

r : Relación de codificación interna.

4.3. Duración total del símbolo CODFM.

Queriendo fortificar la señal transmitida frente a ecos, extendiendo la duración símbolos de acuerdo con el intervalo de guarda, el tiempo que entrega el tiempo el intervalo de guarda al inicio de cada trama permite evitar que la señal se pueda transmitir por un canal diferente al que se configura inicialmente para su transmisión.

$$T_{Total\ Símbolo} = \Delta + T_U$$

Ecuación 3. Duración total del símbolo CODFM

$T_s = \text{Duracion total de simbolo}$

$\Delta = \text{Intervalo de guarda}$

$T_U = \text{Duración Util}$

4.4. Azimut.

Es el ángulo que define el apuntamiento de la antena desde una ubicación terrestre, este ángulo es medido en grados, el ajuste del azimut depende de la latitud y longitud de la posición terrestre en la cual se encuentra ubicada la antena, definiendo con exactitud el ángulo puede obtenerse la potencia necesaria para recibir la señal satelital.

$$Azimut = 180 + \frac{180}{\pi} * arctg \left[\frac{tg \left(\frac{LongitudAnt - LongitudSat * \pi}{180} \right)}{\text{sen} \left(\frac{LatitudAnt * \pi}{180} \right)} \right]$$

Ecuación 4. Angulo azimut.

4.5. Elevación.

La elevación que se debe aplicar en la antena satelital, permitirá tener línea de vista directa con el satélite depende de la latitud y longitud de la ubicación terrestre, si el procedimiento realizado es correcto la potencia de recepción debe ser suficiente para visualizar la imagen de televisión digital, es un parámetro más que se debe tener en cuenta para la configuración y recepción de la señal de televisión digital.

$$W = \cos(LatitudAnt)[\cos(LongitudSat - LongitudAnt)]$$

$$Elevación = arctg \left[\frac{R' - (R * W)}{R[\text{sen}(\arcsin(W))]} \right] - \arcsin(W)$$

Ecuación 5. Elevación.

R: Radio de la tierra = 6378.155Km

R': Distancia del cinturón de Clarck = 42164.2Km

4.6. Diferencia de longitudes del satélite y la estación terrena

Para obtener los ángulos azimut y elevación en un satélite geosíncrono. Hay que tener la latitud y longitud de la ubicación terrestre de la antena satelital, a continuación se debe calcular la diferencia en grados entre la longitud del satélite y la longitud de la de la ubicación de antena satelital en tierra.

$$\Delta L = LongitudAnt - LongitudSat$$

Ecuación 6. Diferencia de longitudes del satélite y la estación terrena.

4.7. Rango

Es la distancia que hay entre una estación terrena y un satélite. Esta se aplica a la fórmula de pérdidas en el espacio libre con el fin de tener un valor más exacto de este cálculo.

El ángulo de elevación θ está dado por:

$$\theta' = \arccos[\cos(\text{LatitudAnt}) * \cos(\Delta L)]$$

Ecuación 7. Angulo de cobertura.

Finalmente el rango está dado por:

$$S = 35786 \sqrt{1.4199 - 0.4199 \cos(\theta')} \text{ [Km]}$$

Ecuación 8. Rango.

4.8. Potencia de recepción en un enlace de bajada

Teniendo presente que la recepción de televisión digital satelital (DVB-S) es un enlace de bajada el cual se comunica por frecuencias de microondas en línea de vista, se aplica la potencia de recepción en un enlace de baja en algunas de las practicas planteadas en este libro permitiendo que se puedan establecer diferencias entre potencia radiada y potencia recibida aplicando esto a la transmisión de televisión digital.

$$C_{dBW} = PIRE_{dBW} + G_{R[dBi]} - L_{e.I.[dB]} - L_{L.T.[dB]} - L_{C[dB]}$$

Ecuación 8. Propagación.

C_{dBW} : Potencia de recepción

$G_{R[dBi]}$: Potencia de transmisión

$G_{R[dBi]}$: Ganancia de recepción (Ganancia de antena y Amplificador)

$L_{e.I.[dB]}$: Pérdidas en el espacio libre

$L_{L.T.[dB]}$: Pérdidas de la línea de recepción estación errera

$L_{C[dB]}$: Pérdidas por conectores estación terrena

4.9. Pérdidas en el espacio libre.

Una perdida en espacio libre se presenta cuando en una transmisión la línea de vista se presenta en dos puntos y la onda electromagnética se propaga en el vacío se presentan perdidas de potencia en transmisión, interferencias, y reflexión en la señal, por esta razón y para el análisis del sistema de transmisión de televisión digital DVB-S se tienen muy presente dichas perdidas.

$$L_{fs[dB]} = 92,44 + 20 * \text{Log}(f)_{\text{GHz}} + 20 * \text{Log}(d)_{\text{Km}}$$

Ecuación 9. Perdida en el espacio libre.

Dónde:

f : Frecuencia en GHz

d : Distancia del enlace en Km

4.10. Prácticas de Laboratorio.

En este proyecto se diseñaron 7 prácticas de laboratorio. Dichas experiencias son esenciales para el desarrollo del curso de TV Digital. A continuación se nombran las guías elaboradas (Las guías están presentes en el **Anexo G**):

- ✓ Procesamiento Digital de Imágenes
- ✓ Conceptos Básicos de Comunicaciones Digitales.
- ✓ Compresión MPEG-2
- ✓ Trama de Transporte MPEG-2
- ✓ Recepción Sistema DVB-T
- ✓ Recepción Sistema DVB-S
- ✓ Transmodulación DVB-S/DVB-T

Además en el **Anexo H**. se encuentran la solución de las guías planteadas para el laboratorio de televisión digital-

Las prácticas son entregadas impresas (Guía y Solución), además estarán incluidas individualmente en DVD's con un video tutorial y demás documentos (**Anexo F**) que sirven para el desarrollo de las mismas.

5. ANALISIS DE EQUIPOS Y PROPUESTA TECNICA.

En este capítulo se realiza la descripción de cada uno de los equipos que harán parte de la propuesta técnica para la implementación del laboratorio de televisión digital del programa de Ingeniería en telecomunicaciones de la UMNG. Se realiza la comparación de las características técnicas de los siguientes equipos: Analizadores de campo, Moduladores, Amplificadores, Multiplexores, Codificadores y Decodificadores, teniendo en cuenta la arquitectura de un sistema de televisión digital terrestre establecida por el estándar DVB.

En el **Anexo E** se presenta una descripción general de las principales características de equipos de TDT.

En la tabla 16 se muestra la clasificación de los equipos dentro de las diferentes tapas de TDT.

CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS DE TDT	
Etapas del sistema DVB	Equipos
Fuente de video	Fuente de video
Conversión análogo digital	
Codificación banda base	Codificador
Multiplexación	Multiplexor
Codificación de canal	Modulador
Modulación	
Canal	Amplificador
Demodulación	Analizador de campo
Decodificación de canal	
Demultiplexación	
Decodificación banda base	
Conversión digital análogo	
Recepción DVB-T	

Tabla 16. Clasificación de equipos de TDT.

A continuación se establecen 4 diferentes configuraciones las cuales permitirán un mejoramiento de la infraestructura de equipos de televisión digital existentes en la universidad.

Se presentan cuatro diseños: un primer diseño básico, con las características mínimas para el sistema de televisión digital; un segundo diseño con características intermedias, un tercer diseño con características avanzadas y un último diseño que muestra equipos de diferentes funcionalidades a las establecidas en los demás diseños expuestos en este libro.

En el **Anexo D**, se incluye una tabla en Excel donde se presenta una comparación de características técnicas de equipos para televisión digital por etapas marcadas por letras de la a la f. Los equipos de las figuras de los 4 diseños están señalados con dichas letras para que sean observados y analizados contra otros dispositivos de similares propiedades.

5.1. DISEÑO 1.

El primer diseño se observa en la figura 44, inicialmente cuenta con una fuente de video la cual podría ser una videocámara, luego de esta pasa por el codificador (Promax -EN260), el cual permite codificar la señal digital para su transmisión en formato TS-ASI, tan pronto la señal es codificada se envía al multiplexor (Cisco – D194), el multiplexor permite combinar varias señal para ser transmitidas por un mismo canal en DVB-ASI.

Continuando con el diseño se observa el modulador (DEXIN-NDS2401A), el cual modula la señal para ser transmitida en RF, la señal debe pasar por un proceso de amplificación (Pacific Wave – RFBOOSTER 1W) antes de ser emitida por la antena yagui.

Para la etapa de recepción también se cuenta con una antena yagui la cual recibe la señal RF y finalmente el analizador (SEFRAM - 7866) reproduce la señal de televisión digital con sus diferentes características.

Los equipos presentados en el diseño 1 contienen las siguientes capacidades: Codificación de video MPEG-2 y H.264, Multiplexación de 4 canales, Ancho de banda 6, 7 y 8 MHz, Constelaciones QPSK, 16QAM, 64QAM, Ganancia de 30 dB y Estándares DVB-T, DVB-C, DVB-S.

El diseño 1 presenta las siguientes ventajas: Fácil operatividad. Además de la ventajas descritas también presenta las siguientes desventajas: incompatibilidad con el estándar DVB-T2, dificultad para realizar pruebas exteriores debido a que la mayoría de los equipos propuestos no cuentan con batería, baja ganancia de transmisión, poca variación en intervalos de guarda en modulación, imposibilidad de cambio de tasa de código, no habilitada la variación del IFFT. Son equipos enfocados para uso comercial o tecnología básica.

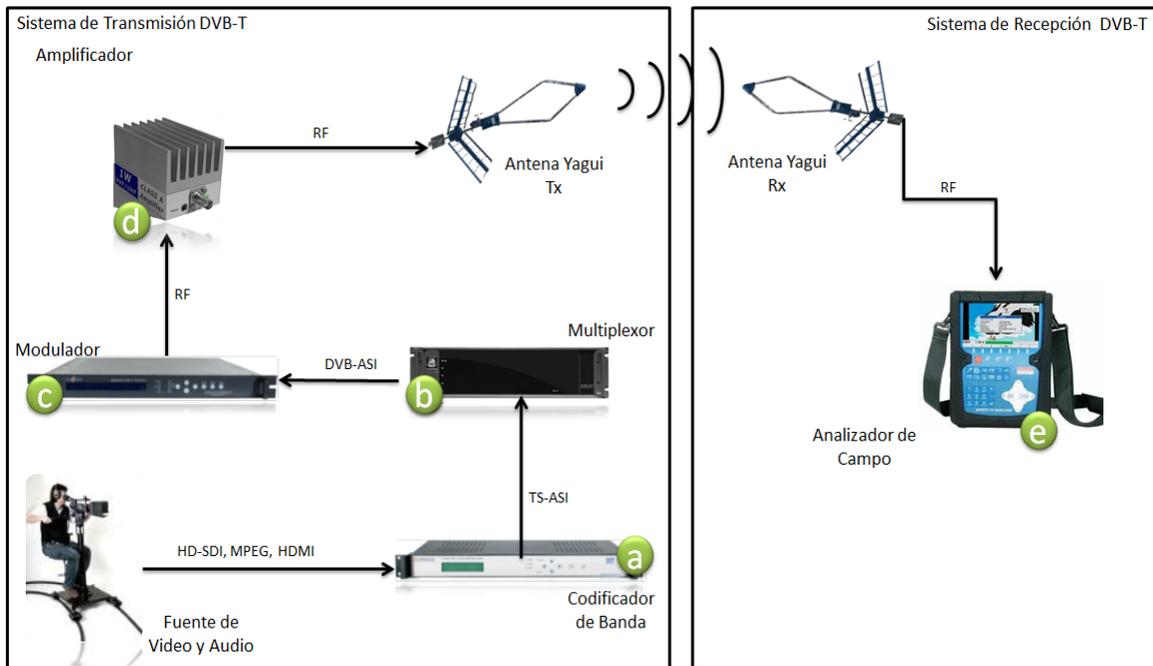


Figura 44. Distribución de equipos de características básicas.

EQUIPOS DISEÑO 1		
ETAPA	MARCA	MODELO
Codificador	Promax	EN-260
Multiplexor	Cisco	D-9140
Modulador	Dexin	NDS2401A
Amplificador	Dveo	AC7000-A050UX1NB
Analizador de campo	Sefram	7866 HD

Tabla 17. Tabla de equipos diseño 2

5.2. DISEÑO 2.

El segundo diseño se observa en la figura 45, inicialmente cuenta con una fuente de video la cual podría ser una videocámara, luego de esta pasa por el codificador (Promax - EN264), el cual permite codificar la señal digital para su transmisión en formato TS-ASI, tan pronto la señal es codificada se envía al multiplexor (Promax - MX008), el multiplexor permite combinar varias señal para ser transmitidas por un mismo canal en DVB-ASI.

Continuando con el diseño se observa el modulador (Promax – MO160), el cual modula la señal para ser transmitida en RF, la señal debe pasar por un proceso de amplificación (Promax – DT730) antes de ser emitida por la antena yagui.

Para la etapa de recepción también se cuenta con una antena yagui la cual recibe la señal RF y finalmente el analizador (Promax - TV Explorer HD) reproduce la señal de televisión digital con sus diferentes características.

Los equipos presentados en el diseño 2 tiene las siguientes capacidades: Codificación Mpeg-2 o Mpeg-4, Multiplexación de 8 canales, Ancho de banda 6,7 y 8 MHz, Constelación QPSK, 16 QAM y 64 QAM, Intervalo de guarda 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32, IFFT 2k y 8k, Tasa de código 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8 y Estándares DVB-T, DVB-S, DVB-C, DVB-S2

El sistema presentado en el diseño 2 tiene las siguientes ventajas: Equipos del mismo fabricante características similares, compatibilidad con el estándar DVB-S2, operatividad sencilla y equipos enfocados para aprendizaje. Además de la ventajas descritas también presenta las siguientes desventajas: Incompatibilidad con estándar DVB-T2, dificultad en pruebas exteriores debido a la falta de batería en la mayor parte de los equipos.

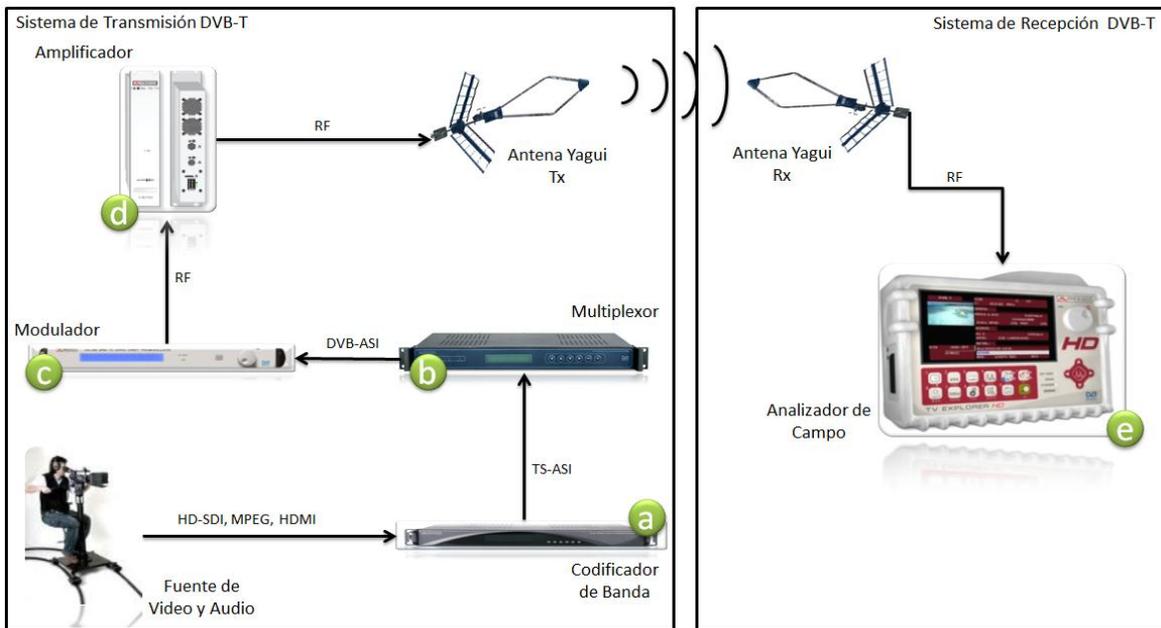


Figura 45. Distribución de equipos de características altas.

EQUIPOS DISEÑO 2		
ETAPA	MARCA	MODELO
Codificador	Promax	EN-264
Multiplexor	Promax	MX-008
Modulador	Promax	MO-160
Amplificador	Promax	DT-730
Analizador de campo	Promax	TV Explorer HD

Tabla 18. Tabla de equipos diseño 2

5.3. DISEÑO 3.

El tercer diseño se observa en la figura 46, inicialmente cuenta con una fuente de video la cual podría ser una videocámara, luego de esta pasa por el codificador (Pro video instruments - E7934TX), el cual permite codificar la señal digital para su transmisión en formato TS-ASI, tan pronto la señal es codificada se envía al multiplexor (WISI- Serie OT), el multiplexor permite combinar varias señal para ser transmitidas por un mismo canal en DVB-ASI.

Continuando con el diseño se observa el modulador (ENESYS – NetMod - DTTV), el cual modula la señal para ser transmitida en RF, la señal debe pasar por un proceso de amplificación (FTE - MAXIMAL TDT), antes de ser emitida por la antena yagui.

Para la etapa de recepción también se cuenta con una antena yagui la cual recibe la señal RF y finalmente el analizador (R&S - ETL TV Analyse), reproduce la señal de televisión digital con sus diferentes características.

Los equipos presentados en el diseño 3 tiene las siguientes capacidades: Codificación Mpeg-2 o Mpeg-4, Nivel de video 0 a -25 dB, Multiplexación de 8 canales, Ancho de banda 5,6,7 y 8 MHz, Constelación QPSK, 16 QAM, 64 QAM Y 256QAM, Intervalo de guarda 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32, IFFT 2k y 8k, Tasa de código 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8 y Estándares DVB-T, DVB-S, DVB-C, DVB-S2.

El sistema presentado en el diseño 3 tiene las siguientes ventajas: Compatibilidad con el estándar DVB-T2, máxima ganancia de transmisión, gran variación de intervalos de guarda en el proceso de modulación, cambio de la tasa de código para análisis, habilitada la variación del IFFT, activación de características por medio de actualización. Además de las ventajas descritas también presenta las siguientes desventajas: dificultad para realizar pruebas en exteriores debido a que la mayoría de los equipos propuestos no cuentan con batería, variación de costos debido al cambio de características por actualización de las mismas.

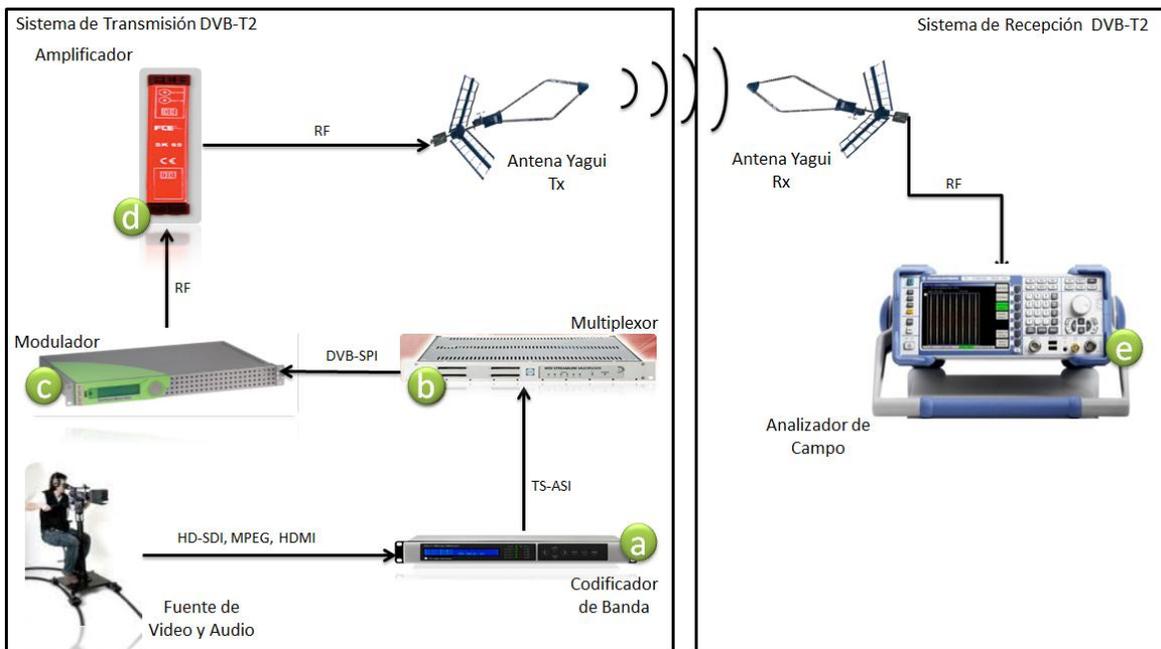


Figura 46. Distribución de equipos con recepción del entrenador universal de recepción de televisión digital.

EQUIPOS DISEÑO 3		
ETAPA	MARCA	MODELO
Codificador	Pro video instruments	E7934-TX
Multiplexor	WISI	Serie OT
Modulador	ENESYS	NetMod – DTTV
Amplificador	FTE	MAXIMAL TDT
Analizador de campo	R&S	ETL TV Analyse

Tabla 19. Equipos diseño 3

5.4. DISEÑO 4.

El cuarto y último diseño se observa en la figura 47, inicialmente cuenta con una fuente de video la cual será un computador portátil (Mac - Pro) debido a la inclusión del adaptador de salida (Dektec – DTU205), el cual permite la generación de cualquiera trama de video MPEG-2 Transport Stream (DVB-ASI) o vídeo digital sin comprimir (SDI), luego de esta pasa por el modulador (PROMAX – MO160) el cual modula la señal para ser transmitida en RF, con ayuda de una etapa de amplificación (PROMAX – DT703), antes de ser emitida por la antena yagui.

Para la etapa de recepción también se cuenta con una antena yagui la cual recibe la señal RF y finalmente es llevada al entrenador universal de recepción (PROMAX – EU850), que reproduce la señal de televisión digital con sus diferentes características, es necesario incluir un analizador de espectros para analizar las señales recibidas en el entrenador.

Los equipos presentados en el diseño 3 tiene las siguientes capacidades: Ancho de banda 6,7 y 8 MHz, Constelación QPSK, 16 QAM, 64 QAM, Intervalo de guarda 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32, IFFT 2k y 8k, Tasa de código 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8 y Estándares DVB-T, DVB-S, DVB-C, DVB-S2.

El sistema presentado en el diseño 4 tiene las siguientes ventajas: la posibilidad de convertir cualquier señal MPEG-2 en DVB-ASI, análisis de (COFDM), Satélite (QPSK) y Cable (QAM) Vídeo: Formato MPEG-2 / DVB (MP@ML), descodificación servicios Lista de servicios y PIDs. Además de las ventajas descritas también presenta las siguientes desventajas: dificultad para realizar pruebas en exteriores debido a que la mayoría de los equipos propuestos no cuentan con batería, variación de costos debido al cambio de características por actualización de las mismas.

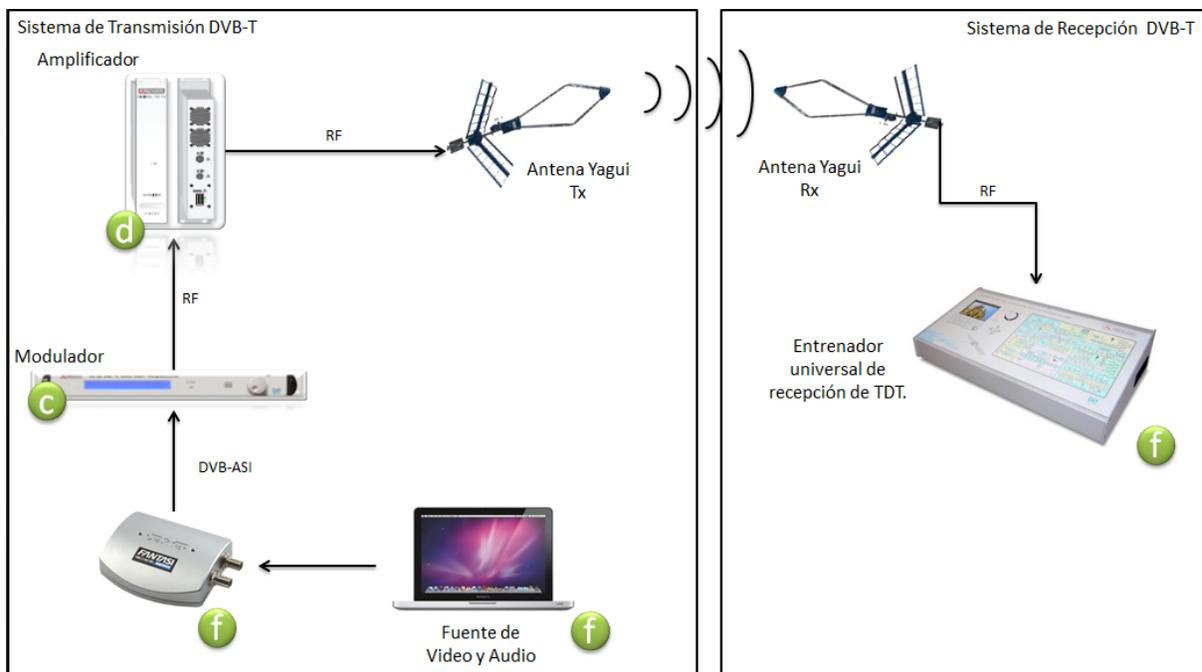


Figura 47. Distribución de equipos con recepción del entrenador universal de recepción de televisión digital.

EQUIPOS DISEÑO 4		
ETAPA	MARCA	MODELO
Fuente de video	Mac	Pro
Adaptador	Dektec	DTU-205
Modulador	Promax	MO-160
Amplificador	Promax	DT-730
Entrenador universal	Promax	EU-805

Tabla 20. Equipos diseño 4

En el **Anexo B**, se encuentran las hojas de características técnicas de todos los equipos que entrega el fabricante.

6. ANALISIS DE RESULTADOS

Para el desarrollo y análisis de datos se hace referencia a la metodología planteada en la propuesta de proyecto. En primer lugar se amplió la consulta bibliográfica que permitió definir los antecedentes, variables teóricas y demás información con el propósito de establecer un contexto teórico del objeto de investigación.

Como segunda parte se hizo una revisión de equipos que permitió determinar la funcionalidad de los mismos, así se logró establecer los procesos de desarrollo y diseño para las guías de laboratorio.

Durante la realización de las prácticas de laboratorio se incluyeron pruebas piloto dentro del campus de la Universidad, las cuales resultaron adecuadas para el desarrollo de las experiencias de trabajo en campo.

A continuación se hace una pequeña descripción del proceso de elaboración de cada una de las prácticas de laboratorio:

6.1. Práctica Procesamiento Digital de Imágenes.

Para el desarrollo de esta práctica se hizo uso del software de Matlab y el toolbox de procesamiento digital de imágenes. A lo largo del proceso de realización de la misma se utilizaron diferentes tutoriales y libros que analizan de forma profunda características de las imágenes.

Durante la práctica se emplean instrucciones básicas de manipulación de matrices que permiten la lectura, escritura y transformaciones imágenes, conceptos que son importantes para la comprensión de la tecnología de televisión digital.

6.2. Práctica Conceptos Básicos de Comunicaciones Digitales.

Para el desarrollo de esta práctica se hizo uso de Matlab y el Toolbox de Comunicación digital. En el proceso de investigación se decidió implementar varios modelos en los cuales se representan sistemas básicos de comunicación digital. En esta actividad se busca profundizar en el concepto ganancia de codificación mediante la comparación de un sistema con y sin codificación con el fin de que los alumnos analicen la importancia de este proceso en los sistemas de comunicación digital.

Para facilitar el desarrollo de esta guía se crea un paso a paso apoyado en video, donde el estudiante identifica la configuración adecuada de los diferentes bloques que permiten simular los sistemas propuestos que para este caso son:

- ✓ Sistema de modulación BPSK simple y otro con la inclusión de un bloque de codificación Hamming.

- ✓ Sistema de modulación 16-QAM simple y otro con la inclusión de un bloque codificador convolucional.

El análisis de estos sistemas se complementa a través de la herramienta bertool de Matlab que permite generar gráficas comparativas los sistemas de con y sin codificación.

6.3. Práctica de Compresión MPEG-2.

Durante el desarrollo de esta práctica se hizo uso la herramienta Matlab, el Toolbox de procesamiento digital de imágenes y algunos equipos de TV Digital. A lo largo de la realización de la guía se buscó evidenciar de forma experimental las ventajas de los procesos de compresión de las imágenes. Se trabajaron dos módulos diferentes en esta práctica: en el primero, se hace evidencia de la importancia del concepto de la DCT (Transformada Discreta del Coseno) a través de ejemplos básicos, donde las imágenes sufren cambios en su calidad. En el segundo módulo se tiene un primer contacto con los equipos de TV digital y un trabajo con señales reales de DVB-T. A continuación se ilustra con fotografías dicho trabajo:



Figura 48. Práctica de compresión MPEG-2

En la tabla se aprecia el montaje general y la captura de la señal DVB-T. Este montaje fue el punto de partida para la elaboración de todas las prácticas siguientes. Aquí se empezó a identificar el funcionamiento del equipo receptor y la identificación de sus posibilidades y limitaciones.

6.4. Práctica Trama de Transporte MPEG-2.

Para el desarrollo de esta práctica se hace uso de los equipos de televisión digital Modulador MO-163 y TV Explorer HD. Se decidió trabajar dos tipos de escenarios que posteriormente serían comparados.

El fin de esta práctica es generar una trama de datos aleatoria con ayuda del modulador para después ser analizada mediante el TV Explorer con el fin de identificar las diferentes características de la señal digital, e ir familiarizando al estudiante con los diferentes conceptos asociados a la tecnología.

Uno de los escenarios considerados fue la conexión directa de los equipos a través de un cable coaxial y un segundo montaje haciendo uso de las antenas yagui de TV Digital Terrestre tanto en transmisión como en recepción. A continuación a través de imágenes se evidencian dichas pruebas:

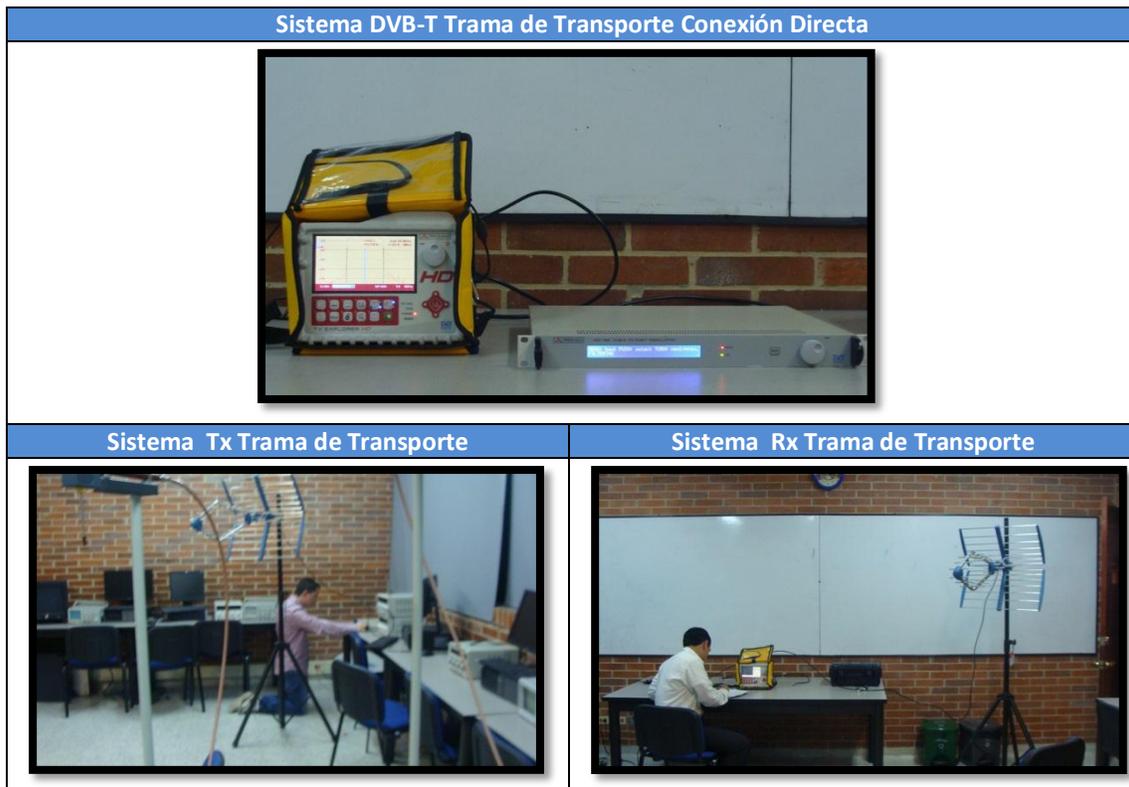


Figura 49. Práctica Trama de Transporte MPEG-2.

6.5. Práctica Recepción Sistema DVB-T.

Durante esta práctica se utilizaron los equipos de TV digital (Antena TDT y TV Explorer HD) para capturar las diferentes señales provenientes de los 5 servicios de TV digital libres. Posteriormente, se analizaron las diferentes medidas y parámetros entregados por el equipo receptor con el fin que el estudiante identifique las diferentes características de un canal bajo el estándar DVB-T.

Para el desarrollo de esta práctica, se llevaron a cabo pruebas con los diferentes servicios disponibles de TDT en la ciudad de Bogotá y comparar las configuraciones técnicas empleadas por los diferentes operadores de televisión digital.

A continuación se observan algunas fotografías que evidencian dicho trabajo.



Figura 50. Práctica Recepción Sistema DVB-T.

En la figura se puede apreciar el proceso de recepción de señales analógicas y digitales, punto de partida para el desarrollo del guía.

Finalmente, se analizaron todas las características de la TDT mediante el análisis de los diagramas de constelación, medidas de potencia, error, velocidad de video. Datos que son fundamentales para el diseño de la guía propuesta.

6.6. Práctica Recepción Sistema DVB-S.

En esta práctica se hará uso de los equipos de TV Digital (Antena parabólica y TV Explorer HD). Para el inicio de trabajo se hace uso de las páginas de internet Lyngsat y Dishpointer, estas permiten calcular de una forma segura la elevación y azimuth de la antena receptora.

Como desarrollo de la guía se captaron señales provenientes de diferentes satélites disponibles en la zona, con el fin de analizar las diferentes características del estándar DVB-S y DVB-S2.

A continuación se observa a través de fotografías la evidencia de las pruebas desarrolladas para esta práctica:

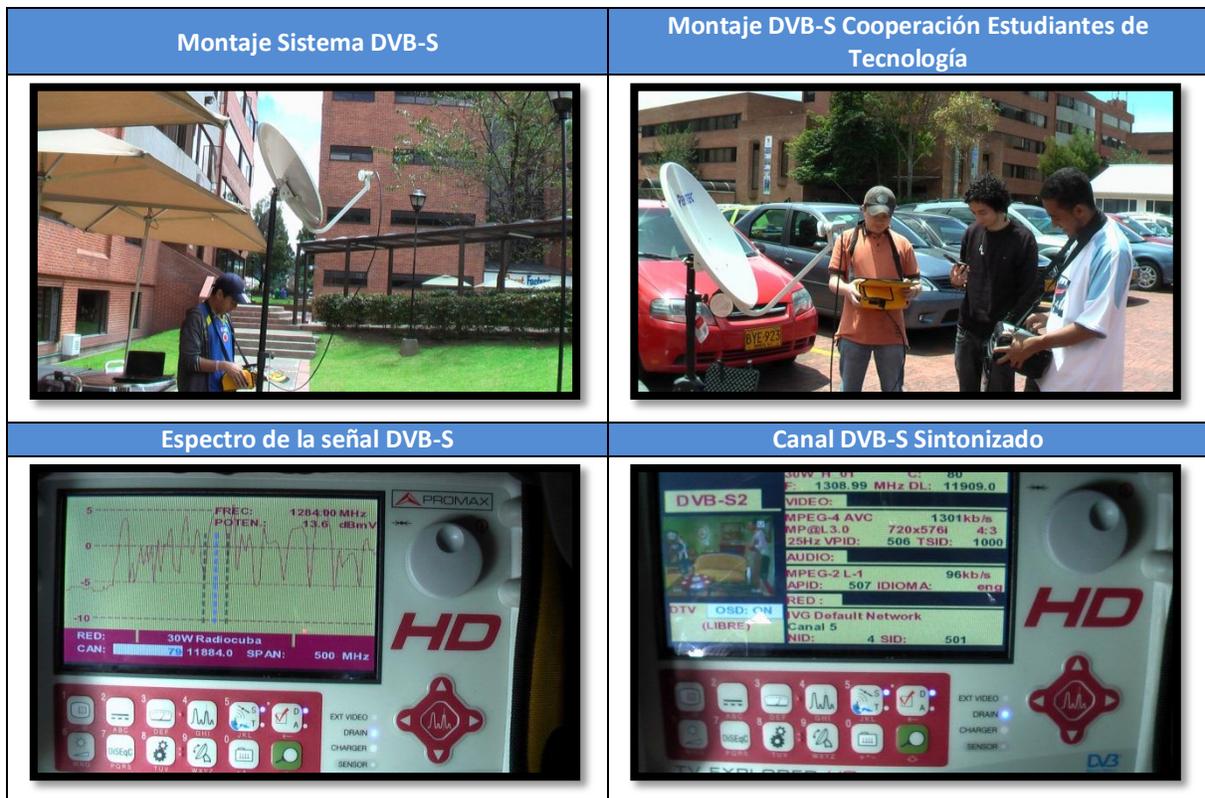


Figura 51. Práctica Recepción Sistema DVB-S.

Como se observa en la figura, se realizaron diferentes pruebas, una de ellas es desarrollar con los estudiantes de Tecnología en Telecomunicaciones, que creaban un proyecto de recepción satelital, pero con el uso de un decodificador y televisor. Además se incluyen imágenes de la recepción de la señal de DVB-S, y espectro de los diferentes canales disponibles en el satélite.

6.7. Práctica Transmodulación DVB-S/DVB-T.

A lo largo de esta práctica se hará uso de todos los equipos de TV Digital disponibles en el laboratorio. Con esta experiencia se pretende que el estudiante logre transmitir una señal real de DVB-T a partir de una señal satelital DVB-S, por medio del modulador.

Para el desarrollo de esta práctica se deben tener en cuenta conceptos y experiencia de prácticas pasadas, con un conocimiento y manejo apropiado de las diferentes funcionalidades del modulador para retransmitir señales en formato DVB-T. Durante este trabajo además se experimentó y observo que se debe tener un espacio amplio y libre de obstáculos, para que no se presenten pérdidas en el receptor.

A continuación se observan algunas fotografías que evidencian dicho trabajo:



Figura 52. Práctica Transmodulación DVB-S/DVB-T.

En la figura, se observan los montajes de la práctica y además se incluyen fotografías del receptor donde se muestra claramente la señal transmodulada. Se debe tener en cuenta que para la señal proveniente del satélite deben ser filtrados algunos de los servicios, ya que un sistema DVB-S maneja un ancho de banda mucho mayor al de DVB-T y por ende no pueden ser retransmitidos todos los servicios.

Hay que resaltar que cada una de las prácticas cuenta con un video tutorial, que describe el paso a paso para el desarrollo de la guía, se espera que esta ayuda multimedia permita a los estudiantes un mayor desenvolvimiento en el desarrollo de la práctica.

Finalmente se realizaron documentos donde se entregan las guías definitivas, tanto para el estudiante como para el docente, cada una de estas se incluye en un DVD por práctica.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En este capítulo se presenta, un breve análisis que hace referencia a todo el proyecto, donde se incluyen las conclusiones acordes al trabajo realizado y las recomendaciones para posibles trabajos futuros relacionados con esta tecnología.

7.1. CONCLUSIONES

Como proceso final al desarrollo de las diferentes fases del proyecto, a continuación se presentan una serie de conclusiones que resultan de la implementación del trabajo:

- ✓ Se llevó a cabo un estudio y análisis de los equipos adquiridos por la UMNG, que permitió establecer las diferentes capacidades de los mismos y así determinar su desempeño dentro de las prácticas de laboratorio.
- ✓ La propuesta técnica incluida en el libro presenta una serie de equipos con el fin de orientar futuras adquisiciones para el laboratorio de televisión digital. Se crearon cuatro diseños para los sistemas de DVB-T y DVB-T2 conformados los mejores dispositivos de acuerdo a sus características y capacidades técnicas.
- ✓ Se diseñó un conjunto de prácticas de laboratorio, con ayuda de los equipos que adquirió la universidad (modulador MO-163 y el Analizador TV Explorer HD) y elementos adquiridos mediante proyectos de iniciación científica, que permitan desarrollar experiencias de laboratorio donde se estudian los conceptos básicos del análisis de señales de Televisión Digital.
- ✓ Las prácticas entregadas, cuentan con una guía de laboratorio que especifica paso a paso los procedimientos e información técnica necesaria para ser desarrolladas, se proporciona además una ayuda multimedia y las soluciones de las mismas, para hacer de este un material completo para el Laboratorio de Televisión Digital de la UMNG.
- ✓ Para el desarrollo de las 3 practicas iniciales del laboratorio, se especificaron diferentes actividades a través de Matlab, que permitirán al estudiante abordar algunos conceptos básicos en el estudio de la Televisión Digital.
- ✓ De acuerdo con la actualización del estándar DVB-T a DVB-T2 se debe tener presente que los equipos a adquirir deben cumplir con la capacidad de recepción y transmisión del estándar DVB-T2, este presenta mejoras en su robustez, aprovechamiento y flexibilidad, además de lo anterior Colombia ya adopto la actualización del estándar

7.2. RECOMENDACIONES

Con la experiencia adquirida a lo largo del desarrollo del proyecto nos atrevemos a proponer una serie de recomendaciones que pueden ser estudiadas e implementadas con los equipos disponibles en el laboratorio de TV Digital:

- ✓ Se sugiere que la infraestructura de equipos de TV Digital existentes se complemente con los equipos y software que permitan desarrollar proyectos de investigación orientados a la generación de contenidos para TV Digital.
- ✓ Se recomienda desarrollar proyectos complementarios que aborden las temáticas de planificación de redes de Televisión, televisión digital móvil, estándar DVB-T2 y protección de la información.
- ✓ Para los trabajos en campo es recomendable que las prácticas se hagan en una zona libre de obstáculos y espaciosa, donde las antenas deben estar a una altura mínima de 1.5 metros y perfectamente aseguradas en el trípode, contar con una batería e inversor para la alimentación de energía de los equipos y asegurarse que los cables coaxiales se encuentren en perfectas condiciones y bien ponchados. Esto garantizara un buen desarrollo en las prácticas.
- ✓ Para el uso de los equipos es necesario que siempre se tenga presente revisar con anterioridad los manuales, videos y practicas desarrolladas en este proyecto, los cuales permitirán conocer el uso y configuración de los equipos de laboratorio de televisión digital que se encuentran en la universidad, esto con el fin de optimizar y preservar la vida útil de los mismos.

8. BIBLIOGRAFIA.

[1] Nelly Amparo Talero S., Diana Yeimi Correa L., Análisis Comparativo de tecnologías para la televisión digital en el entorno colombiano., Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga 2007.

[2] Radio Televisión Nacional de Colombia, Rendición de cuentas 2009. Televisión Digital Terrestre – RTVC. Bogotá [Sitio en Internet] Disponible en: http://www.rtvco.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=351:television-digital-terrestre--rtvc&catid=21:dependencias&Itemid=55

[3] Sebastián Velásquez Suárez, Simulación y validación de sistema DBV-T con diversidad de antena por STBC, Trabajo de grado, Universidad de los Andes, Bogotá 2009.

[4] Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Departamento de Electrónica Y teoría de Circuitos, Laboratorio de Televisión Digital, Madrid. [Sitio en Internet] Disponible en: <http://www.etc.upm.es/new/index.html>

[5] Václav Říčný Institute of Radio Electronics FECC BTU Brno Purkyňova 118, 612 00 Brno, Laboratory education of students in branch of digital television at the FECC BTU BRNO, En: Proceedings of the IEEE, Czech Republic 2006.

[6] Digital TV LABS, DVB Conformance Specialists, Empresa Laboratorio de Televisión Digital, Reino Unido [Sitio en Internet] Disponible en: <http://www.digitaltv-labs.com/>.

[7] Escuela Politécnica del Ejército, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Estudio de Factibilidad para la implementación de un laboratorio de televisión digital interactiva para la ESPE, Ecuador 2009.

[8] Ramón Millán Tejedor, Televisión Digital Terrestre (TDT), Manual Formativo N 36, ACTA, Consultoría Estratégica en Tecnologías de la Información y la Comunicación, [Sitio en Internet] Disponible en: <http://www.ramonmillan.com/documentos/tdt.pdf>

[9] Antonio Neptalí Calero, Carlos Rolando Villacrés, Análisis y estudio de ingeniería para la selección del estándar de televisión digital más apropiado para Ecuador bajo la supervisión de la “Supertel”, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador 2009.

[10] Cossete Castro, El modelo Híbrido Japonés – Brasileño de TV Digital – Interactividad, interoperabilidad y robustez para inclusión social. Revista Académica de la Federación Latinoamericana de Facultades de Comunicación Social, 2008

[12] ETSI EN 300 744 V1.5.1 (2004-11), Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.

[13] ISO/IEC IS 13818-1:2000 (E), International Standard, Information technology Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems.

[14] ISO/IEC IS 13818-2, International Standard (1996), MPEG-2 Video.

[15] ISO/IEC CD 13818-4, MPEG Committee Draft (1994): "MPEG-2 Compliance."

[16] ETSI ETR 154 Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for the use of MPEG-2 Systems, Video and Audio in satellite, cable and terrestrial broadcasting applications.

[17] ETSI 300 468: "Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems". Known as (DVB-SI).

[18] Vladimir Marianov, Christian Oberli, Miguel Rios, Análisis de los estándares de transmisión de televisión digital terrestre y su aplicabilidad al medio nacional. Estudio Técnico. Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile 2006.

[19] Juan Carlos Asinset, El Sonido, Ministerio de Educación Ciencia y Tecnología Argentina 2000. [Sitio en Internet] Disponible en: <http://coleccion.educ.ar/coleccion/CD13/contenidos/materiales/archivos/sonido.pdf>

[20] Víctor Paladino, Introducción a la compresión de video bajo el estándar MPEG-2. Monografía para el curso de Codificación de Imágenes y Video. Instituto de Ingeniería Eléctrica. Uruguay 2002. [Sitio en Internet] Disponible en: <http://iie.fing.edu.uy/ense/assign/codif/material/monografias/2002-01.pdf>

[21] PROMAX, Manual de prácticas del Entrenador Universal de Televisión Digital EU-850, España 2008.

[22] Constantino Pérez Vega, El sistema de transporte en la TV digital, Universidad de Cantabria, España 2004. [Sitio en Internet] Disponible en: <http://personales.unican.es/perezvr/pdf/Sistema%20de%20transporte%20en%20TV%20digital.pdf>

[23] Alejandro Delgado Gutiérrez. Transmisión de señales de TV digital en el estándar terreno DVB-T. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación. Departamento de Electromagnetismo y Teoría de Circuitos. 2002.

[24] Comisión Nacional de Televisión Acuerdo 008. “Por el cual se adopta para Colombia el estándar de televisión digital terrestre DVB-T y se establecen las condiciones generales para su implementación”, 2010.

[25] Comisión Nacional de Televisión. Estudio del impacto de la actualización del estándar de televisión digital terrestre DVB-T2. 2011.

[26] Comisión Nacional de Televisión. Proyecto Acuerdo Por medio del cual se reglamenta la prestación del servicio público de televisión radiodifundida en tecnología digital terrestre TDT. 2011.

[27] Comisión Nacional de Televisión. Proyecto Acuerdo Por el cual se modifica el artículo 1 y 7 del Acuerdo 8 de 2010 y se actualiza el estándar para la televisión digital terrestre en Colombia. 2011.

[28] Comisión Nacional de Televisión. Acuerdo por medio del cual se establecen condiciones técnicas para la prestación del servicio de televisión radiodifundida en tecnología digital en Colombia. 2011.

[29] UIT-T. SERIES H: Audiovisual and Multimedia Systems. Infraestructure of audiovisual services –Coding of Moving Video. 2011.