

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS PARA TELEVISIÓN DIGITAL
EN EL ENTORNO COLOMBIANO**

**NELLY AMPARO TALERO SARMIENTO
DIANA YEIMI CORREA LÓPEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2007**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS PARA TELEVISIÓN DIGITAL
EN EL ENTORNO COLOMBIANO**

**NELLY AMPARO TALERO SARMIENTO
DIANA YEIMI CORREA LÓPEZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero
Electrónico**

**Director
M.S.E.E. ANA BEATRIZ RAMÍREZ SILVA**

**Codirector
Ph.D. ÓSCAR GUALDRÓN GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2007**

Al Autor principal de la Vida Dios Todopoderoso, Creador, mi Padre, mi Consejero, mi Ayudador, mi Guía, mi Luz y mi Salvación, quien permitió que cumpliera este logro. Todo el reconocimiento es para El Señor Omnipotente, quien me dio fuerza y valor para llegar a la meta, Omnisciente, fuente de sabiduría infinita y Omnipresente, que siempre ha estado a mi lado y ha guiado mis pasos por el Camino Correcto.

A la mujer que con sus esfuerzos, lucha y dedicación ha dado todo lo mejor de sí para darme su comprensión, ayuda, colaboración y sobre todo amor, quien ha estado siempre pendiente de mi, durante la realización de mi carrera universitaria, a mi madre Clarita, un pequeño reconocimiento por todo el amor brindado y por permitirme llegar a donde lo he hecho.

A mi hermano Helber, por ser motivación para la realización de este proyecto.

A mi hermano Samuel, mi amigo, compañero de andanza, quien me enseñó lo hermosa que es la música, por animarme a seguir en la Universidad.

A la gran familia espiritual, llena de fraternidad, que me brindó solidaridad, llevándome siempre en sus oraciones: mi familia en Dios, mi Iglesia. A mis padres espirituales que me han demostrado que el amor de Dios es el más grande.

A mi amiga Nelly, mi compañera de proyecto, que al culminar este logro, puedo expresar mis agradecimientos por los momentos tan especiales que vivimos. Nunca se olvidarán los hermosos recuerdos de la vida universitaria que atravesamos en la realización del proyecto. Gracias por la paciencia, la tolerancia, enorme colaboración y el respeto que me brindó; por el acogimiento de su familia y compartir muchas cosas.

A todos mis amigos, amigas, a las personas que aprecio con mi corazón y a quienes conocí en la Universidad, que me enseñaron el verdadero sentido de la amistad.

Diana Yeimi

Desde lo más profundo de mi corazón, dedico este gran logro principalmente a Dios, mi Padre Celestial, Creador de mi vida, mi Luz y mi Fortaleza, por enseñarme en cada momento de mi vida que siempre podré confiar en Él y siempre podré sentir su presencia Misericordiosa en mí. Porque en todas aquellas etapas de mi vida, me ha enviado los más maravillosos ángeles para acompañarme: mi familia, mis amigos y mis seres queridos, que han permitido que supere los momentos de dificultad y disfrute los momentos de alegría. Por ser mi fuente de Inspiración y Sabiduría, y sobre todo por ser siempre mi amigo incondicional.

A mis padres Leonardo y Adelaida, por darme la vida y ser el más grande ejemplo de amor que haya conocido. Porque siempre confiaron y creyeron en mí, por haber sentido su apoyo y cariño en todo momento, por haberme formado como una persona íntegra y sobre todo porque los quiero mucho y son parte esencial de mi vida.

A mi tío Fernando a quien quiero mucho, por haberse convertido en un segundo padre para mí acá en la tierra, por haber creído en mí desde el principio para culminar mi carrera. Por sus consejos, sus palabras alentadoras y sus oraciones.

A mis hermanos María, Leonardo, Carmen y Alfonso; por ser mis compañeros en todo el camino de mi vida, por regalarme alegrías y estar a mi lado en los momentos de dificultad, por sentir su cariño y quererlos demasiado, más de lo que se imaginan.

A mi nonita Celmira, por sentir su gran apoyo y cariño, por ser una gran madre, abuela y mujer.

A mis Abuelitos quienes hoy me acompañan desde el cielo, y yo aquí en la tierra los recuerdo siempre.

A Diana Yeimi, por ser una excelente compañera, amiga y confidente. Por haber sentido una gran paciencia de su parte en el desarrollo de este trabajo.

A todos mis amigos y amigas, por haber compartido conmigo grandes momentos, por haber depositado su confianza en mí y haber sentido su apoyo desde el comienzo hasta el final de mi carrera.

A todos mis demás seres queridos y familiares, por acompañarme y compartir conmigo esta gran alegría.

Nelly Amparo

AGRADECIMIENTOS

Las autoras de este proyecto agradecemos principalmente a Dios, Creador y Fuente de Sabiduría durante el desarrollo y culminación de este gran logro.

A nuestra directora Ana Beatriz Ramírez por su apoyo y respaldo, su amistad incondicional, sus palabras de ánimo, sus valiosos aportes y su gran paciencia, brindados durante la realización de este proyecto y ante todo por ser un gran modelo a seguir, tanto en el aspecto humano como profesional.

Al doctor Óscar Gualdrón, por su asesoría desde el inicio de este trabajo, grandes contribuciones académicas y consejos que nos permitieron crecer un poco más en el área profesional y humana, recordándonos que la formación universitaria no sólo es académica sino integral.

Al Ingeniero José Rugeles por su amistad desinteresada, grandes aportes y orientación, brindados, que nos ayudaron a resolver inquietudes, al disponer parte de su tiempo y compartir con nosotras sus conocimientos sobre el tema implícito en este trabajo.

A los integrantes del Grupo de Investigación en Conectividad y Procesado de Señal (CPS) por acogernos y proporcionarnos su amistad, colaboración, apoyo académico, humano y profesional, en particular, al Ingeniero Leandro Ariza por su cooperación desinteresada.

A la Especialización en Telecomunicaciones por el soporte logístico, en especial a la Ingeniera Tatiana Inés Navas, que además de su amistad, nos motivó con su ejemplo a culminar este proyecto.

A la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, personal administrativo y docente, por permitirnos desarrollar nuestra vida universitaria, en el transcurso de estos años.

A nuestros familiares, seres queridos y amigos que siempre estuvieron atentos en cada momento de alegría que creyeron en nosotras desde el comienzo hasta la finalización de estas etapas. Muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. TELEVISIÓN ANALÓGICA	3
1.1 CONCEPTOS DEL OJO HUMANO	3
1.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE TELEVISIÓN	3
1.2.1 Exploración Entrelazada	3
1.2.2 La Resolución	5
1.2.3 Relación de Aspecto	6
1.3 LA SEÑAL COMPUESTA DE VIDEO	6
1.4 ESTÁNDAR DE TRANSMISIÓN A COLOR	6
1.4.1 Principios de Colorimetría	7
1.4.2 Estándar de Transmisión NTSC	7
2. DE LA TELEVISIÓN ANALÓGICA A LA DIGITAL	10
2.1 SEÑAL DE VIDEO DIGITAL	10
2.1.1 Muestreo	11
2.1.2 Estándares de Muestreo	11
2.1.3 Cuantización	13
2.1.4 Compresión	14
2.1.5 Calidad de contribución	14
2.2 CONCEPTOS ASOCIADOS A LA SEÑAL DE VIDEO DIGITAL	15
2.2.1 Formatos progresivo y entrelazado	15
2.2.2 Relación de aspecto de la imagen	15
2.2.3 Relación de aspecto de píxel	15
2.2.4 Definición estándar	15
2.2.5 Alta definición	15
2.3 SEÑAL DE AUDIO DIGITAL	15
2.3.1 Muestreo	16
2.3.2 Cuantización	16
2.3.3 Codificación	17
2.3.4 Frecuencias estándares de muestreo	17
2.4 SERVICIOS QUE OFRECE LA TELEVISIÓN DIGITAL	17
2.4.1 Interactividad	17
2.4.2 Televisión mejorada	18
2.4.3 Vistas de información	19
2.4.4 Acceso a Internet a través de DTV	19
2.4.5 Datacasting	19
2.4.6 Transmisión de múltiples programas	20
2.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TELEVISIÓN	20
2.5.1 Ventajas de televisión digital	20
2.5.2 Desventajas de la Televisión Digital	21

2.6	SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL	22
2.7	COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS ANALÓGICO Y DIGITAL	23
2.8	FORMAS DE DISTRIBUCIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL	24
2.8.1	Televisión Digital Terrestre TDT	24
2.8.2	Televisión Digital Satelital	25
2.8.3	Televisión Digital por Cable	26
2.8.4	Ventajas y desventajas	27
3.	SISTEMA DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE	28
3.1	FUENTE DE CODIFICACIÓN Y COMPRESIÓN	29
3.1.1	La necesidad de Compresión	29
3.1.2	Compresión de Video y Norma MPEG-2	29
3.1.3	Compresión de Audio	31
3.2	SERVICIO DE MÚLTIPLEX Y TRANSPORTE	33
3.2.1	MPEG-2 para Múltiplex y Transporte	33
3.2.2	Terminología	33
3.2.3	Datos complementarios	37
3.3	LA CAPA FÍSICA	38
3.3.1	Codificación del Canal	38
3.3.2	Modulación	39
3.3.3	Transmisión en Redes de Frecuencia Única	41
3.4	FACTORES DE PLANIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN	41
3.4.1	Planificación del Espectro	41
3.4.2	Consideraciones entre las tecnologías analógica y digital	42
3.4.3	Cobertura de la señal	42
3.4.4	Técnicas del Sistema Digital	43
3.4.5	Consideraciones para los factores de planificación	44
3.4.6	Características de la Recepción	45
4.	ESTÁNDARES DE TRANSMISIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE	47
4.1	ATSC (Advanced Television System Committee)	47
4.1.1	Antecedentes Generales	47
4.1.2	Características del Sistema	47
4.1.3	Sistema de Video	48
4.1.4	Sistema de Audio	49
4.1.5	Sistema de múltiplex y transporte	50
4.1.6	Características del Sistema de Transmisión	51
4.1.7	Operación en redes de frecuencia única	55
4.1.8	Requerimientos para sincronización	56
4.1.9	Características de Recepción	56
4.1.10	Recepción para terminales móviles	57
4.2	DVB-T (Digital Video Broadcasting, Terrestrial)	57
4.2.1	Antecedentes Generales	58
4.2.2	Características del Sistema	59
4.2.3	Sistema de Video	59
4.2.4	Sistema de Audio	61

4.2.5	Sistema de múltiplex y transporte	61
4.2.6	Características del sistema de transmisión	62
4.2.7	Operación de DVB en redes de frecuencia única	67
4.2.8	Características del Receptor	68
4.2.9	DVB para terminales portátiles	69
4.3	ISDB (Integrated Service Digital Broadcasting)	69
4.3.1	Antecedentes históricos	70
4.3.2	Sistema de televisión ISDB-T	70
4.3.3	Características de video	73
4.3.4	Características de audio	74
4.3.5	Múltiplex y Transporte	75
4.3.6	Esquema de Transmisión de ISDB-T	75
4.3.7	Transmisión a terminales portátiles	81
4.3.8	Operación en redes de frecuencia única	82
4.3.9	Recepción	82
4.4	OBSERVACIONES	83
5.	DESCRIPCIÓN DE LA RED DE TELEVISIÓN DIGITAL	85
5.1	RED DE TELEVISIÓN ANALÓGICA	85
5.1.1	Configuración física	85
5.1.2	Configuración operacional	86
5.1.3	Centro de producción y Emisión	86
5.1.4	Enlace estudio a transmisor (STL)	89
5.1.5	Transmisión	89
5.1.6	Recepción	90
5.2	RED DE TELEVISIÓN DIGITAL	90
5.3	ETAPA DE PRODUCCIÓN	90
5.3.1	Descripción general	90
5.3.2	Descripción de los equipos necesarios	91
5.4	ETAPA DE EMISIÓN	94
5.4.1	Descripción general	94
5.4.2	Descripción de los equipos necesarios	94
5.5	ETAPA DE TRANSMISIÓN	96
5.5.1	Descripción general	96
5.5.2	Descripción de los equipos necesarios	96
5.6	ETAPA DE RECEPCIÓN	98
5.6.1	Descripción general	98
5.6.2	Descripción de los equipos necesarios	99
6.	EXPERIENCIA DE LA TDT EN EL MUNDO	106
6.1	FACTORES QUE AFECTAN EL APAGÓN (SWITCH-OFF) ANALÓGICO	106
6.2	IMPLICACIONES DEL APAGÓN ANALÓGICO	108
6.3	EXPERIENCIA EN EL MUNDO	110
6.3.1	Europa	110
6.3.2	Estados Unidos	112
6.3.3	Japón	114

6.3.4	México	116
6.3.5	Taiwan	117
6.3.6	Brasil	118
6.3.7	Situación en Latinoamérica	120
6.4	OBSERVACIONES	121
7.	TELEVISIÓN DIGITAL: TRANSICIÓN EN COLOMBIA	122
7.1	TELEVISIÓN ANALÓGICA EN COLOMBIA	122
7.2	ENTES REGULATORIOS DE LA TELEVISIÓN EN COLOMBIA	123
7.2.1	Ministerio de Comunicaciones	123
7.2.2	Comisión Nacional de Televisión	123
7.2.3	Comisión de Regulación de Telecomunicaciones CRT	123
7.2.4	Radio Televisión Nacional de Colombia RTVC	124
7.3	ESTADO ACTUAL DE LA TDT EN COLOMBIA	124
7.4	CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL ESTÁNDAR	125
7.5	PROCESO DE ADOPCIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL EN COLOMBIA	126
7.6	CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA SELECCIÓN DEL ESTÁNDAR	127
7.6.1	Descripción de los criterios	127
7.6.2	Análisis de los criterios	128
7.6.3	Conclusiones respecto al estándar para TDT en Colombia	131
7.7	PROPUESTA PARA TRANSICIÓN	133
7.7.1	Actividades	133
	CONCLUSIONES	139
	RECOMENDACIONES	143
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	144
	ANEXOS	153

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Características principales de los Estándares de transmisión a color	9
Tabla 2.	Parámetros de codificación 4:2:2 para el estándar de exploración 525/60	13
Tabla 3.	Televisión Digital Vs. Televisión Analógica	23
Tabla 4.	Ventajas y desventajas de las plataformas de televisión digital	27
Tabla 5.	Perfiles MPEG-2	30
Tabla 6.	Niveles MPEG-2	30
Tabla 7.	Duración de la trama de audio MPEG-2	32
Tabla 8.	Característica de la cabecera del paquete de transporte MPEG-2	35
Tabla 9.	Servicios de datos complementarios	37
Tabla 10.	Codificación del canal	39
Tabla 11.	Frecuencias de cuadros de ATSC	48
Tabla 12.	Formatos de imagen ATSC	49
Tabla 13.	Tipos de servicio de audio contenido en el flujo elemental AC-3	50
Tabla 14.	Parámetros para modos de transmisión VSB	54
Tabla 15.	Características del video DVB	60
Tabla 16.	Resoluciones de Video para DVB-T	60
Tabla 17.	Tipos de Tablas para la Información del Servicio de DVB	62
Tabla 18.	Características de los flujos jerárquicos para DVB-T	62
Tabla 19.	Anchos de banda para DVB-T	66
Tabla 20.	Tasas de Datos para DVB según el ancho de banda.	67
Tabla 21.	Tasas binarias posibles para los tres tipos de modulaciones.	67
Tabla 22.	Restricciones de parámetros de codificación	72
Tabla 23.	Áreas apropiadas de codificación	73
Tabla 24.	Características del formato de audio	73
Tabla 25.	Principales parámetros	74
Tabla 26.	Parámetros de transmisión para ISDB-T (6 MHz)	74
Tabla 27.	Número de TSPs por trama de multiplexación	75
Tabla 28.	Paquetes del flujo de transporte.	77
Tabla 29.	Ajuste de Retardo para entrelazado de bit	79
Tabla 30.	Ajuste de retardo con el entrelazado temporal	80
Tabla 31.	Cámaras digitales disponibles en el mercado	92
Tabla 32.	Dispositivos de Audio Digital	93
Tabla 33.	Equipos del Control Principal	93
Tabla 34.	Equipos de la etapa de emisión.	95
Tabla 35.	Transmisores Disponibles en el Mercado	97
Tabla 36.	Televisores Digitales Integrados	100

Tabla 37.	STB disponibles para ATSC	100
Tabla 38.	STB disponibles para DVB-T	101
Tabla 39.	Responsabilidades e implicaciones de la TDT	109
Tabla 40.	Enfoques de Adopción de TDT.	110
Tabla 41.	Fechas de transición de TDT en los países de Europa	112
Tabla 42.	Características de transición de TDT en Estados Unidos	113
Tabla 43.	Características de Implementación en Japón	114
Tabla 44.	Características de la TDT en México.	116
Tabla 45.	Cronograma de Transición de TDT en México	117
Tabla 46.	Fechas de transición de TDT en Taiwan	118
Tabla 47.	Características de la TDT en Taiwan	118
Tabla 48.	Características de la TDT en Brasil	118
Tabla 49.	Estado actual de la TDT en América Latina.	120
Tabla 50.	Análisis de los criterios para la selección del estándar en Colombia	129
Tabla 51.	Cronograma de Transición para la TDT en Colombia	133

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Proceso de exploración	4
Figura 2.	Relaciones de Aspecto	6
Figura 3.	Esquema general de Transmisión Análoga	7
Figura 4.	Señal de video de TV	8
Figura 5.	Espectro de la señal de TV mediante el estándar NTSC	8
Figura 6.	Proceso de conversión de señal analógica a digital	10
Figura 7.	Muestreo 4:2:2	12
Figura 8.	Muestreo 4:1:1	12
Figura 9.	Representación en el dominio del tiempo del proceso de muestreo	16
Figura 10.	Sistema de TV Analógica	22
Figura 11.	Figura 6. Sistema de TV Digital	22
Figura 12.	Televisión Digital Terrestre	25
Figura 13.	Televisión Digital Satelital	26
Figura 14.	Televisión Digital por Cable	26
Figura 15.	Sistema de Televisión Digital Terrestre	28
Figura 16.	Formación de los PES a partir de los flujos individuales de bits	34
Figura 17.	Flujo de Programa.	34
Figura 18.	Creación del flujo de programa	34
Figura 19.	Flujo de Transporte	34
Figura 20.	Formación del TS a partir de los PES	36
Figura 21.	Múltiplex de Transporte a partir de los PS	36
Figura 22.	Principales funciones del proceso de codificación del canal	38
Figura 23.	Arquitectura de capas OSI y del sistema ATSC	48.
Figura 24.	Multiplexación de flujos elementales en un flujo de programa y flujos de programa en un flujo de transporte.	51
Figura 25.	Diagrama de bloques del Servicio Principal	52
Figura 26.	Segmento de datos 8-VSB	53
Figura 27.	Ancho de banda del canal VSB (nominal)	54
Figura 28.	Diagrama de bloques de un receptor ATSC	57
Figura 29.	Diagrama funcional del estándar DVB-T	59
Figura 30.	Formación del TS	62
Figura 31.	Esquema de codificación de canal y modulación para DVB-T	63
Figura 32.	Estructura del paquete con codificación RS	63
Figura 33.	(a). Fragmentación del canal OFDM. (b). Distribución de las portadoras sobre el canal	65
Figura 34.	Espectro DVB-T para un ancho de banda de 8 MHz	66
Figura 35.	Redes de frecuencia única para DVB-T	68
Figura 36.	Diagrama funcional del IRD	69

Figura 37.	Transmisión jerárquica y recepción parcial	72
Figura 38.	Diagrama de Codificación de canal	76
Figura 39.	Separación jerárquica y procesamiento paralelo	77
Figura 40.	Diagrama de bloques de Modulación	78
Figura 41.	Número de Segmentos y ejemplo de Ubicación de segmentos en el Espectro de Transmisión.	81
Figura 42.	Intervalo de guarda	81
Figura 43.	Configuración básica del receptor	82
Figura 44.	Configuración básica del decodificador receptor integrado digital (DIRD)	83
Figura 45.	Diagrama de bloques del sistema general de transmisión terrestre.	85
Figura 46.	Distribución del centro de producción	87
Figura 47.	Cuarto de control	87
Figura 48.	Switch de producción.	88
Figura 49.	Enrutador analógico	88
Figura 50.	Área de emisión	89
Figura 51.	Área de recepción.	89
Figura 52.	Red de Distribución de Televisión Digital	90
Figura 53.	Switch de Control Principal	92
Figura 54.	Factores que afectan el apagón analógico	107
Figura 55.	Acuerdos realizados en Europa	108
Figura 56.	La cadena de valor para la TDT	134

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A TABLA COMPARATIVA DE LOS TRES ESTÁNDARES PARA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE	153
ANEXO B ATRIBUCIÓN DE BANDAS DE FRECUENCIA PARA RADIODIFUSIÓN DE TELEVISIÓN EN COLOMBIA	158

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS PARA TELEVISIÓN DIGITAL EN EL ENTORNO COLOMBIANO*

**AUTORES: CORREA LÓPEZ, Diana Yeimi
TALERO SARMIENTO, Nelly Amparo****

PALABRAS CLAVES: Advanced Television System Committee (ATSC), compresión de audio y video, Digital Video Broadcasting (DVB), Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB), red de transmisión de televisión, Televisión Digital (DTV), Televisión Digital Terrestre (TDT), Transición de la TDT en Colombia

La televisión en Colombia experimenta un cambio tecnológico que causará gran impacto en diferentes áreas con la inclusión de técnicas digitales en toda la red de transmisión de televisión. Las entidades encargadas de la regulación de este medio de comunicación en el país, como el Ministerio de Comunicaciones y la Comisión Nacional de Televisión han convocado a representantes y operadores del sector, incluyendo universidades con facultades de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones y grupos de investigación, para realizar estudios de los requisitos de evaluación para la selección del estándar de televisión digital.

Este proyecto tiene como objetivo principal presentar un estudio de los estándares existentes de transmisión de televisión digital terrestre. Para su desarrollo, se realizaron comparaciones entre las diversas características de los mismos, analizando las ventajas y desventajas que cada uno de ellos ofrece. Además, se efectuó una descripción de los dispositivos fundamentales que deben ser incorporados en la nueva red de transmisión. Se evaluaron los parámetros influyentes en el cambio de televisión analógica a digital en diferentes partes del mundo, tanto en los lugares de origen de los estándares como en la región latinoamericana, finalizando con una propuesta de transición tecnológica, donde se consideraron los distintos aspectos para la implantación de TDT en Colombia.

Este trabajo servirá como fundamento teórico para desarrollos posteriores sobre el tema, relacionados con los factores de decisión: económico, social, de regulación. En cuanto al aspecto técnico, la geografía de Colombia es un punto crítico que determina el estándar, además de los argumentos teóricos, es necesaria la realización de pruebas, cuyos resultados fundamenten la mejor opción para la selección del estándar.

* Trabajo de Grado

** Universidad Industrial de Santander (UIS); Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (E3T); Programa de Ingeniería Electrónica; M.S.E.E. Ana Beatriz Ramírez Silva, Directora de Proyecto; Ph.D Oscar Guadrón González, Codirector de Proyecto

ABSTRACT

TITLE: COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNOLOGIES TO DIGITAL TELEVISION IN COLOMBIAN ENVIRONMENT*

**AUTHORS: CORREA LÓPEZ, Diana Yeimi
TALERO SARMIENTO, Nelly Amparo****

KEYWORDS: Advanced Television System Committee (ATSC), video and audio compression, Digital Video Broadcasting (DVB), Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB), television broadcasting network, Digital Television (DTV), Digital Terrestrial Television (DTT), DTT transition in Colombia.

Television in Colombia undergoes a technological change that will cause a great shock on different areas in addition with digital techniques in the television broadcasting network. Entities in charge of this media regulation in the country, Ministry of Communications and National Commission of Television have called to managers and operators, including Electronic and Telecommunications Engineering Faculties at universities and research groups, to carry out research to evaluate main requirements in order to select the digital television standard.

The main goal of this project is to conduct studies about digital terrestrial television standards. For its development, was carried out comparisons among varied characteristics of them, it was analyzed advantages and disadvantages of each of them. It was evaluated the parameters that are involved in the transition of analog to digital television in different parts of the world, such as United States, Japan, Some countries in Europe and in Latin-American region. This work presents a technological transition proposal, where was considered different aspects for the DTT implementation in Colombia.

This work can be used as theoretic fundamental for futures developments about Digital Television and it is the base to make deep studies in other factors such as: economic, social, regulation factors. About technical requirement, Colombian geography is an important issue to decide which the best standard is. In addition, it's necessary to make tests, because it will be the fundamental to choose the best standard option.

* Grade thesis

** Universidad Industrial de Santander (UIS); Physical-Mechanical Engineering Faculty; Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering Department (E3T); M.S.E.E. Ana Beatriz Ramírez, Director; Ph.D Óscar Gualdrón González, Director.

INTRODUCCIÓN

La evolución tecnológica ha evidenciado transformaciones de gran impacto para el hombre. Un ejemplo aplicado de estas transformaciones es el avance y desarrollo de uno de los medios con mayor penetración en la sociedad, la televisión. Desde sus inicios ha proporcionado la posibilidad de transmitir información, entretenimiento y educación a una gran mayoría de la población. La trascendencia técnica de este medio de comunicación ha ido desde sus orígenes analógicos hasta la completa tecnología digital actual a la cual está convergiendo.

La transición hacia la Televisión Digital no debe ser ajena para la realidad colombiana. Alrededor del mundo se han desarrollado diferentes estándares y normas que han buscado la transmisión de este servicio utilizando la tecnología digital con el objetivo de aprovechar al máximo, los beneficios que esta ofrece.

La actualización de la tecnología de este medio masivo es uno de los intereses de las entidades que rigen sus normas y regulan su gestión, la Comisión Nacional de Televisión CNTV y el Ministerio de Comunicaciones, quienes han hecho un llamado a la comunidad interesada, ya sean universidades con facultades de Ingeniería Electrónica, asociaciones de ingenieros, operadores de televisión, entre otros, para que se vinculen a la investigación y a la determinación del estándar más apropiado para implementar en el territorio nacional.

Partiendo del análisis de las características técnicas del estándar actual de transmisión de televisión analógica, descrito en el primer capítulo, se establecen, en el capítulo dos, las diferencias que existen con el sistema general de transmisión terrestre de televisión digital, mostrando las ventajas y avances que ha tenido en diferentes partes del mundo.

El propósito general de este estudio es presentar un análisis técnico-teórico de los tres estándares actuales de televisión digital terrestre, basados en un modelo general de transmisión, conceptualizados en el desarrollo de los capítulos tres y cuatro, con el fin de evaluar la factibilidad y viabilidad para su implementación en Colombia, describiendo las posibles opciones que ofrece cada uno de ellos.

El cambio de la infraestructura de la red general de transmisión de televisión será el gran reto que deberán enfrentar tanto operadores, como usuarios de este servicio, reemplazando gran parte de los dispositivos de producción, emisión, transmisión y recepción. En el capítulo cinco, se presenta un compendio de los principales equipos que se usan en cada una de estas etapas, especificando principales características, funciones y oferta en el mercado.

La experiencia que han tenido diferentes países en la implementación de televisión digital, sirve como punto de partida para comparar las herramientas técnicas que ofrecen los estándares para la transmisión de la señal televisiva. En cada lugar se ha tenido una perspectiva diferente en cuanto a la adopción de esta nueva tecnología, las cuales se detallan en el capítulo seis de este documento.

Los criterios que se presentan para la selección del estándar de televisión digital terrestre, en el capítulo siete, conducen a un plan de transición de tecnología que se realizó, exponiendo los diferentes agentes involucrados en este proceso de cambio y las implicaciones desde un punto de vista teórico y conceptual.

Finalmente, se espera que este proyecto sirva como base para continuar estudios que permitan agilizar el proceso de cambio, conservando la convergencia con el entorno digital y siguiendo los pasos de la trayectoria de la reducción de la brecha digital.

1. TELEVISIÓN ANALÓGICA

Uno de los conceptos fundamentales para comprender el análisis y funcionamiento del sistema de la televisión está relacionado con la capacidad de persistencia de la imagen en la retina en el ojo humano.

La señal de televisión consta de varias partes: el sonido y la imagen, que son moduladas por dos portadoras diferentes y las señales de sincronización. En este primer capítulo se presentan los conceptos fundamentales de la luz y visión para las técnicas de transmisión de televisión analógica y en las cuales también se fundamentan las técnicas digitales de televisión.

1.1 CONCEPTOS DEL OJO HUMANO

Existen algunos conceptos del ojo humano necesarios para comprender la formación de la imagen de televisión [1].

El ojo es capaz de efectuar las siguientes distinciones:

- Distinción de colores
- Distinción de la forma de los cuerpos
- Distinción de la mayor o menor intensidad de la luz
- Enfoque del objeto

La sensación de continuidad que se percibe en la televisión se consigue con la generación de un determinado número de cuadros por segundo en forma similar al método utilizado en cinematografía.

La retina es capaz de retener la imagen una décima de segundo y todo fenómeno luminoso que tenga lugar a intervalos menores a éste será visto por el ojo como continuos. En el cine se usan 24 cuadros por segundo y en la televisión se usan 25 o 30 dependiendo del estándar que se utilice.

1.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE TELEVISIÓN

1.2.1 Exploración Entrelazada. Todos los sistemas de transmisión de imágenes a distancia se fundamentan en la descomposición de la escena o imagen que se transmite. En el caso de la televisión, los estándares de exploración definen la manera en que una escena de televisión es explorada para sus valores de luminancia y crominancia. Ellos especifican el número de líneas por cuadro y el número de cuadros por segundo [2].

En televisión, la imagen se explora en una serie de líneas horizontales, una detrás de otra como se observa en la figura 1. La exploración o escaneo es una técnica que divide una escena rectangular en líneas individuales. Para crear una imagen, la escena se divide en muchas líneas horizontales muy finas llamadas *líneas de exploración*. Cada línea representa una porción muy angosta de variaciones de luz en la escena. A mayor número de líneas de exploración mayor será la resolución y mayor será el detalle que pueda apreciarse. El estándar de televisión de Estados Unidos NTSC indica que la escena se divide en 525 líneas horizontales y para el caso del sistema Europeo PAL la escena se divide en 625 líneas horizontales.

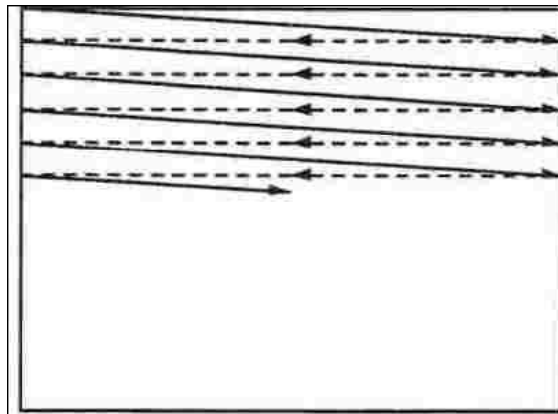


Figura 1. Proceso de exploración¹

La exploración entrelazada (*interlaced scanning*) es el método de adquisición de imágenes que consiste en dividir la imagen a transmitir en dos campos formados por líneas pares e impares. Algunos conceptos claves en el proceso de exploración son:

- *Cuadro*. Se le denomina cuadro a la reproducción completa en la pantalla de una escena, es decir la imagen que resulta de la composición de todos sus campos en los que está dividida.
- *Campo*. Se le denomina a la exploración completa de la pantalla, o sea un recorrido del haz desde que inicia su barrido por la primera línea hasta que regresa a ella. Actualmente la imagen no es transmitida completamente en una exploración completa de la pantalla, sino primero una mitad y luego la otra mitad. Ambas mitades se complementan reproduciendo la escena. En este caso cada escena o imagen completa requiere dos campos.
- *Frecuencia*. En la técnica de televisión cada vez que el cuadro cambia debe existir una señal eléctrica que controle ese cambio de pasar el punto desde la

¹ Fuente: Ibrahim K. F. Receptores de Televisión. Segunda edición. Barcelona: Marcombo, S.A.; 2001.

parte inferior de la pantalla a la parte superior para que inicie un nuevo cuadro. Esta señal corresponde a la frecuencia eléctrica, de tal forma que la misma tensión de alimentación del televisor pueda controlar el oscilador.

La frecuencia define el número de cuadros por segundo, para el sistema de 525 líneas (NTSC) utiliza 30 cuadros por segundo y para el sistema de 625 líneas (PAL) utiliza 25 cuadros por segundo.

La exploración entrelazada es la técnica utilizada en los estándares existentes de televisión analógica. La exploración entrelazada de una imagen se realiza efectuando primero un barrido de líneas impares (de izquierda a derecha) desde la parte superior de la pantalla, luego se regresa y se inicia todo el barrido de las líneas pares.

Un campo tiene 262 ½ líneas y se explora en 1/60 de segundo para una velocidad de campo de 60 Hz. En la televisión a color el campo es de 59,94 Hz. Este segundo campo se escanea de manera que sus líneas de exploración caen entre las correspondientes al primer campo. Esto produce lo que se denomina *exploración entrelazada* con un total de 525 líneas. En la práctica, sólo unas 480 líneas se muestran en la pantalla del tubo de imagen. Dos campos entrelazados desarrollan un cuadro completo de video produciendo así una velocidad de cuadro de 1/30 de segundo o 30 Hz [3].

1.2.2 La Resolución. La resolución de la imagen se refiere a la cantidad de detalle que pueden mostrarse. Las imágenes de alta resolución tienen una excelente *definición*, o distinción de detalles, y las imágenes aparentan buen enfoque. Una imagen con falta de detalles se ve como *más suave*, o fuera de foco. El ancho de banda de un sistema de video es quien determina la resolución. Un mayor ancho de banda proporciona mayor cantidad de detalles, así como mayor definición.

Los pixeles de resolución es la cantidad de puntos individuales (pixeles) en una escena dada. Una resolución típica de 720×480 significa que la imagen de televisión tiene 720 pixeles en el eje horizontal y 480 pixeles en el eje vertical, esto es para el caso del estándar de 30 cuadros por segundo.

La resolución horizontal está definida en el estándar internacional para la digitalización de la imagen de video, donde especifica que el número de pixeles horizontales es el mismo para los sistemas de 25 y 30 cuadros por segundo y es igual a 720. Así mismo, la resolución vertical está dada por el número de líneas horizontales que es posible percibir siendo diferente para ambos sistemas (576 para el sistema de 25 cuadros por segundo y 480 para el sistema de 30 cuadros por segundo) [2].

1.2.3 Relación De Aspecto. Se define la relación de aspecto como la razón entre el alto y el ancho de un cuadro de imagen. Para televisión analógica se utiliza un formato estándar con relación de aspecto 4:3. Para televisión de alta definición se utiliza una relación de aspecto de 16:9 [4].

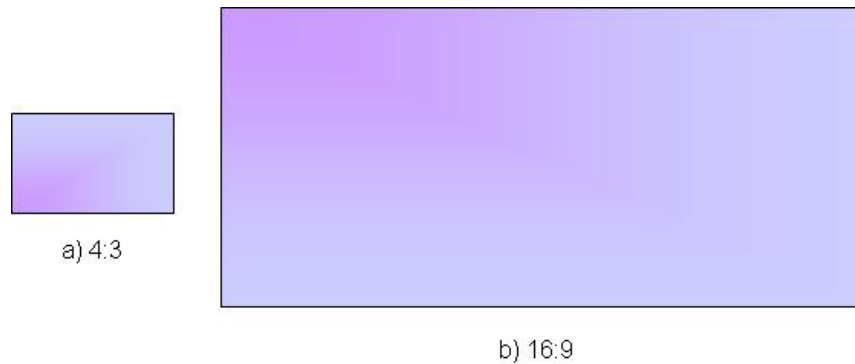


Figura 2. Relaciones de Aspecto

1.3 LA SEÑAL COMPUESTA DE VIDEO

Para reproducir satisfactoriamente la imagen de televisión, La señal de vídeo compuesto [2] está determinada por:

- *Información de video.* Compuesta principalmente por el nivel de vacío, el nivel de referencia de negro, el nivel de brillo promedio de la escena, detalles de la imagen y los valores del color.
- *Información de sincronización.* Las señales de sincronización indican el comienzo y final de las líneas (sincronización horizontal) y de los cuadros (sincronización vertical). Los impulsos de sincronismo los utiliza el receptor para sincronizar las líneas y cuadros de imagen.

1.4 ESTÁNDAR DE TRANSMISIÓN A COLOR

Los estándares de transmisión a color de televisión, definen cómo la señal analógica de televisión es codificada y modulada para poder ser transmitida mediante las ondas terrestres. Existen tres estándares de transmisión, NTSC (National Television Systems Committee), PAL (Phase Alternating Line) y SECAM (Sequential Couleur Avec Memoire).

El estándar NTSC es el sistema de codificación y transmisión de televisión a color analógica que fue desarrollado en Estados Unidos alrededor de 1940, y que actualmente se emplea en la mayor parte de América, incluyendo Colombia. La mayoría de las técnicas básicas de NTSC se incorporan en los sistemas PAL y

SECAM, a continuación se presentarán los conceptos básicos del estándar NTSC y una comparación con los otros sistemas de transmisión a color.

1.4.1 Principios de Colorimetría. El color se define como la característica psicofísica de la luz, como consecuencia de la combinación de esas características de la luz es que produce las sensaciones del brillo, tonalidad, y saturación. El brillo se refiere a la intensidad relativa; la tonalidad se refiere a la cualidad del color que permite la separación en los grupos espectrales percibidos como rojo, verde, amarillo, y así sucesivamente; y la saturación es el grado a el cual un color se desvía de un gris neutral: mientras más gris sea un color, se dice que es menos saturado. Estas tres características representan la información total necesaria para definir y/o para reconstruir un estímulo específico del color.

La señal de televisión se compone de dos señales eléctricas que transmiten estos parámetros: la luminancia (componente que codifica la información de luminosidad o brillo de la imagen) y la crominancia (componente de la señal de vídeo que contiene la información del color, definida por la saturación y la tonalidad). Dependiendo del estándar que se utilice para la codificación de la imagen (NTSC, PAL o SECAM) estas dos magnitudes toman diferentes formas.

1.4.2. Estándar de Transmisión NTSC. En la figura 3 se observa una síntesis del funcionamiento del sistema NTSC para transmisión a color.

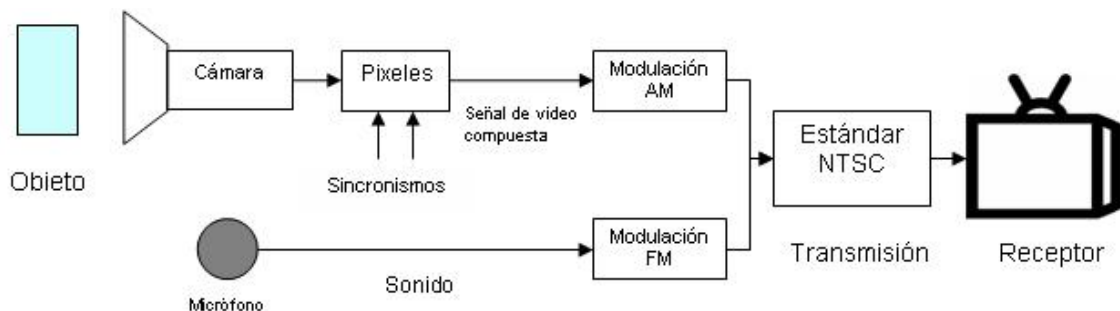


Figura 3. Esquema general de Transmisión Analógica

La cámara fotográfica, se encarga de capturar la imagen del objeto y analizar la distribución espectral de la luz de la escena en términos de sus componentes rojos, verdes, y azules. El mismo sistema de captura R, G y B se utilizan en los tres estándares NTSC, PAL y SECAM.

Las tres señales eléctricas de componente de color que resultan (R, G y B) son codificadas para transformarse en las señales Y (luminancia) y las señales de diferencia de color $C_B=B-Y$ (diferencia en azul) y $C_R=R-Y$ (diferencia en rojo) [5], como se muestra en la figura 4.

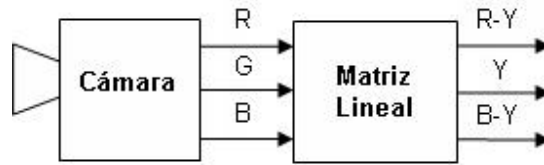


Figura 4. Señal de video de TV

La señal de luminancia (Y) se deriva de las componentes de color mediante la siguiente ecuación.

$$Y=0,59G+0,30R+0,11B^{(2)}$$

Las señales resultantes se modulan sobre un canal de comunicaciones de banda limitada. Un canal de TV que utiliza el estándar NTSC ocupa un total de 6 MHz de ancho de banda como se muestra en la figura 5.

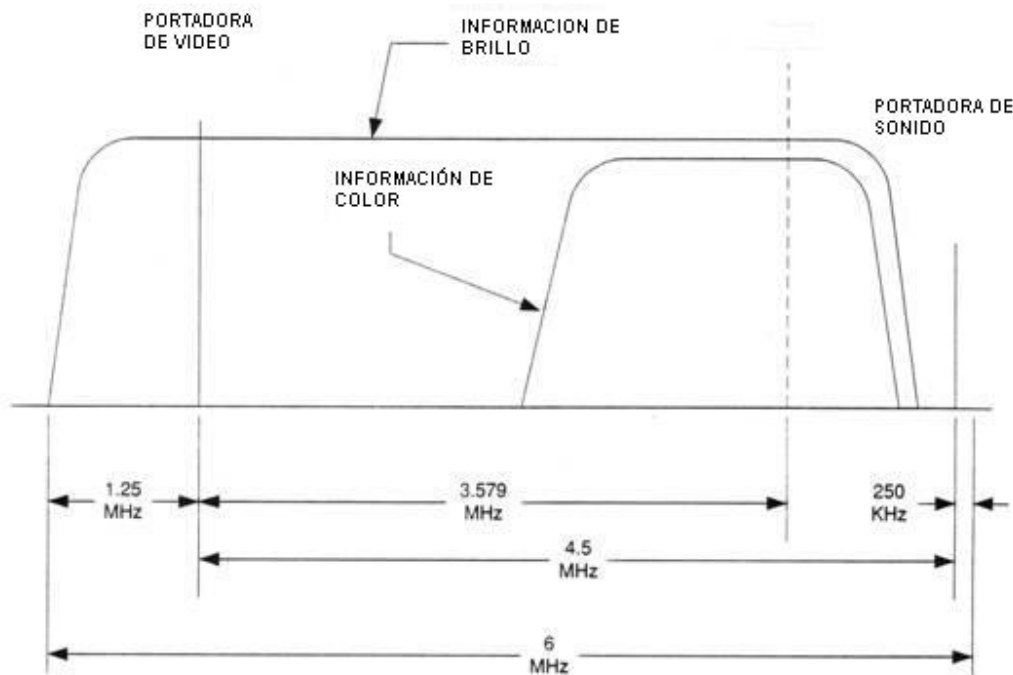


Figura 5. Espectro de la señal de TV mediante el estándar NTSC

La señal Y (brillo) se transmite por modulación de amplitud con banda lateral vestigial (VSB), sobre una portadora de radiofrecuencia correspondiente al canal utilizado; mientras que las señales de crominancia se transmiten por modulación en cuadratura a una frecuencia de subportadora de valor de 3,58 MHz,

² Fuente: Robin M, Poulin M. Digital Television Fundamentals: Design and Installation of Video and Audio Systems. Segunda edición. New York: McGraw Gil; 2000. p. 42.

permitiendo ser recuperadas en el receptor. Esta selección de frecuencias permite que las señales transmitidas no interfieran entre ellas, a pesar de ocupar la misma zona del espectro.

La señal de sonido captada por el micrófono es transmitida por modulación en frecuencia (FM) por una tercera portadora situada a 4,5 MHz de la portadora principal y con un ancho de banda de 250 kHz. Todos los países, con excepción de Francia utilizan este tipo de modulación para la transmisión de la componente de audio en la señal de televisión.

Las diferencias principales entre los sistemas NTSC, PAL y SECAM se presentan en los procesos de modulación específicos utilizados para codificar y transmitir la información de crominancia. La diferencia principal entre el sistema SECAM con el NTSC y PAL es que para la transmisión de las señales de crominancia, primero se modula en FM y luego se adicionan con la señal de luminancia para ser transmitidas. Las semejanzas y las diferencias se resumen brevemente en la tabla 1.

Tabla 1. Características principales de los Estándares de transmisión a color

Característica	NTSC	PAL	SECAM
Nº de Líneas	525	625	625
Frecuencia horizontal	15,734 kHz	15,625 kHz	15,625 kHz
Frecuencia Vertical	60 Hz	50 Hz	50 Hz
Frecuencia de la Subportadora de Color	3,579545 MHz	4,433618 MHz	
Ancho de banda de Video	4,2 MHz	5,0 MHz	5,0 MHz
Portadora de Sonido	4,5 MHz	5,5 MHz	5,5 MHz
Acho de banda total	6 MHz	8 MHz	7 MHz

2. DE LA TELEVISIÓN ANALÓGICA A LA DIGITAL

2.1 SEÑAL DE VIDEO DIGITAL

En un sistema de componente analógico la información es transmitida por la variación de la amplitud de las señales de color o de las diferencia de color (G, B, R o Y, B-Y, R-Y) dentro de unos límites. Las mayores alteraciones que afectan las señales, conocidas como distorsiones lineales, distorsiones no lineales, y ruido, además de las inestabilidades en temporización, pueden ser reducidas pero nunca completamente eliminadas.

En el dominio digital tales alteraciones pueden ser reducidas de manera que la señal sea procesada, grabada y distribuida en forma digital y la codificación para video digital sea llevado a cabo una sola vez, antes de la transmisión convencional VHF/UHF sobre el aire.

La Recomendación CCIR 601, actualmente Recomendación UIT-R 601-6, Parámetros de Codificación de Televisión Digital para Estudios con formatos de imagen normal 4:3 y de pantalla ancha 16:9 [6], estableció un arreglo con un enfoque digital, compatible con ambos estándares de exploración 525/60 y 625/50 y es el fundamento de todos los siguientes desarrollos de tratamiento digital.

La codificación digital recomendada está basada en el uso de una señal de luminancia y dos señales diferencia de color o las señales verde, azul y rojo.

El siguiente gráfico muestra cómo es el paso de analógico a digital.

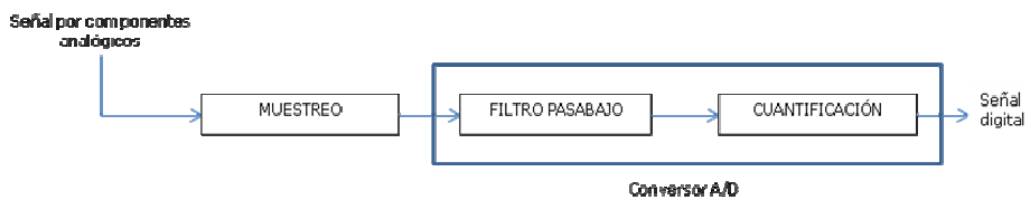


Figura 6. Proceso de conversión de señal analógica a digital

Para digitalizar una señal de video los pasos a seguir son [7]:

1. Captura de la imagen original. .
2. Muestreo de la señal de entrada.
3. Cuantización de la señal.
4. Compresión de la señal.

2.1.1 Muestreo. El primer paso en el proceso de digitalización es el muestreo. La señal se muestrea a alta frecuencia, para producir la ilusión de remanencia en el dominio analógico. Sin embargo, demasiadas muestras resultarán en una cantidad enorme de datos, los cuales posiblemente serían difíciles de manejar. Por otra parte, muy pocas muestras resultarán en mayores alteraciones cuando se trate de recuperar la señal original.

Para determinar el número de muestras que se requieren, se deben tener en cuenta las componentes de la señal de video. La componente más importante es la luminancia, que proporciona todo el detalle necesario en la imagen. Por lo tanto, la luminancia se debe muestrear a una velocidad muy alta. Para NTSC la frecuencia de muestreo es de 13,5 MHz.

2.1.2 Estándares de Muestreo. Se refieren a la razón entre número de muestras de luminancia (Y) y las muestras de cada una de las dos señales diferencia de color (R-Y, B-Y o C_R , C_B) usadas en el registro digital [8].

- *Muestreo 4:1:1.* La señal de luminancia es muestreada a 13,5 MHz (4 x 3,375 MHz) y cada una de las dos señales diferencia de color a 3,375 MHz o 1/4 del número de muestras de luminancia. Este método es usado por algunos equipos de baja finalidad y es apropiado donde el ancho de banda de las señales diferencia de color no excede 1,5 MHz.
- *Muestreo 4:2:2.* La señal de luminancia es muestreada a 13,5 MHz y cada una de las dos señales diferencia de color a 6,75 MHz (2 x 3,375 MHz) o la mitad de la muestra de luminancia.
- *Muestreo 4:4:4.* La señal de luminancia como también las dos señales diferencia de color son muestreadas a 13,5 MHz.

En la figura 7, se muestra la esquina superior izquierda de una imagen de televisión; en televisión estándar se tienen 720 píxeles por línea y 480 líneas activas³. En los píxeles primero y tercero, se muestrea la luminancia, C_R (R-Y) y C_B (B-Y). En el segundo y cuarto píxeles se muestrea sólo la luminancia. Luego, se tienen cuatro muestras de luminancia por cada dos muestras de C_R y C_B . Esta es la razón de 4:2:2

4 muestras Y, 2 muestras C_R , 2 muestras C_B

³ Según la Recomendación UIT-R BT.601-5 para el estándar de exploración de 525 líneas, el número de píxeles por línea activa es de 720 para la luminancia y 360 para las señales de crominancia; y el número de líneas activas es de 480 tanto para luminancia como para crominancia.

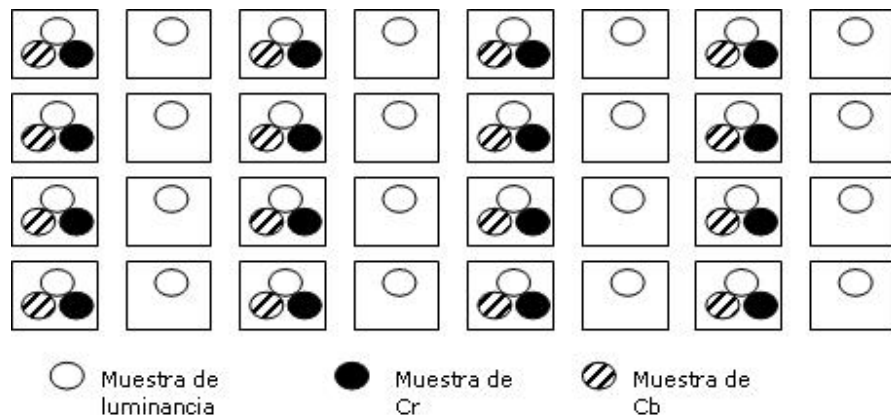


Figura 7. Muestreo 4:2:2

La figura 8 presenta la estructura de muestreo de una señal de componente digital 4:1:1. En el primer píxel se muestrea la luminancia (Y) y las componentes de color C_R y C_B . En los siguientes tres pixeles se muestrea sólo la luminancia; se tienen, cuatro muestras Y por cada muestra C_R y C_B o 4:1:1. Hay una reducción significativa en la información de color o detalle comparado al muestreo digital 4:2:2.

La profundidad de color de una señal digital 4:2:2 es el doble de la de una señal 4:1:1 y, desde el punto de vista de ancho de banda de color, es dos veces que los formatos analógicos. Esto significa mejor desempeño de color, particularmente en áreas tales como: efectos especiales, codificación de color, codificación alpha (transparencias) y gráficas generadas por computador [9].

4 muestras Y, 1 muestra C_R , 1 muestra C_B

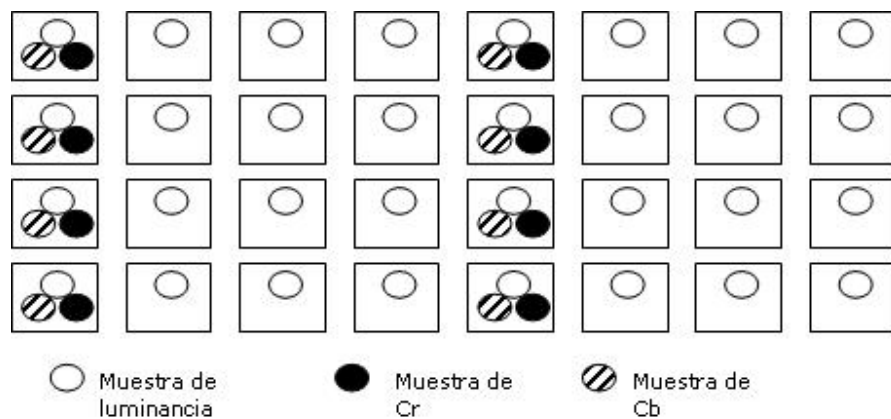


Figura 8. Muestreo 4:1:1

El video digital 4:2:2 tiene desempeño de color más robusto. Una señal que esté muestreada a 4:1:1 nunca puede llegar a ser 4:2:2.

2.1.3 Cuantización. Para registrar el video digital se requiere un conjunto de números los cuales brindan una referencia de cómo era la señal de video analógica inicial.

Por ejemplo, para determinar la cantidad de datos en una señal digital 4:2:2, el cálculo es:

Componente Y: 720 pixeles/línea X 480 líneas/cuadro X 30 cuadros/s X 8 bits/píxel = 83 Mbps

Componente C_R: 360 pixeles/línea X 480 líneas/cuadro X 30 cuadros/s X 8 bits/píxel = 41,5 Mbps

Componente C_B: 360 pixeles/línea X 480 líneas/cuadro X 30 cuadros/s X 8 bits/píxel = 41,5 Mbps

Velocidad de transferencia de bits 4:2:2 = 166 Mbps

Para determinar la cantidad de datos en una señal digital 4:1:1 se sustituye 41,5 por 20,75 Mbps (la mitad de muchas muestras) para las componentes de color de la fórmula y el resultado es:

Velocidad de transferencia de bits 4:1:1 = 124,5 Mbps [10]

En la tabla 2 se resumen los parámetros para la codificación cuando se utiliza el muestreo 4:2:2 en el estándar de exploración de 525 líneas a 60 Hz, para el sistema NTSC

Tabla 2. Parámetros de codificación 4:2:2 para el estándar de exploración 525/60

Parámetro de codificación	Descripción
Señales codificadas	Y = 0,587G+0,114B+0,299R C _B = B-Y = 0,564(B-Y) C _R = R-Y = 0,713(R-Y)
Número de muestras por línea	Y: 858 C _B : 429 C _R : 429 Total: 1716
Número de muestras por línea digital activa	Y: 720 C _B : 360 C _R : 360 Total: 1440
Estructura de muestreo	Ortogonal

	Línea, campo y cuadro repetitivos Las muestras de C_B y C_R son acomodadas con muestras impares en cada línea
Frecuencia de muestreo	Y: $858 \times f_H = 13,5$ MHz C_B y C_R : $429 \times f_H = 6,75$ MHz
Codificación	Cuantizada uniformemente PCM
Resolución de cuantización	8 o 10 bits por muestra para la luminancia y cada señal diferencia de color

2.1.4 Compresión. Una vez cuantizada la señal, queda una gran cantidad de datos que pueden ser problemáticos para el almacenamiento, ya sea en cinta de video o disco duro, por lo tanto, deben ser reducidos para facilitar su manejo.

Se debe considerar cuidadosamente la cantidad de datos y el método de compresión usado. Niveles más altos de compresión afectarán la calidad de la imagen.

Existe un número de diferentes tipos de compresión en uso. Algunos de los más utilizados son [11]:

- DCT – Transformada Discreta del Coseno usada en los formatos S Digital, Betacam Digital y DV.
- JPEG – Joint Photographic Experts Group desarrollado para transmisión de cuadros inmóviles tales como fotos de enlace de noticias.
- M-JPEG – una variante de JPEG orientada a movimiento, usada en la mayoría de sistemas de edición no lineal.
- MPEG – un tipo de compresión inter-cuadro, es decir, sólo ciertos cuadros son completamente comprimidos mientras los cuadros que intervienen son “predichos” como a su contenido. Es usado principalmente en sistemas de CD-ROM.
- MPEG-2 es también un método de compresión inter-cuadro usado para distribución, por ejemplo en transmisión satelital (up-link y down-link), difusión de televisión digital y DVD. La compresión inter-cuadro hace la edición precisa de cuadro muy difícil.

2.1.5 Calidad de contribución. Mientras la razón de compresión sea más alta, se tiene menor calidad de la imagen. Funciones como edición, adición de efectos especiales o títulos y corrección de color, requieren una velocidad de transferencia de datos mayor de 40 Mbps. Mientras más alta sea la velocidad de transferencia de datos y más baja la compresión, mejor la calidad [12].

El problema fue definido por el SMPTE, el cual describe la calidad de contribución, como video muestreado 4:2:2 a una velocidad de transferencia de datos mínima

de 50 Mbps [13]. Esta es la señal de entrada requerida para transmisión MPEG-2 (SDTV).

2.2 CONCEPTOS ASOCIADOS A LA SEÑAL DE VIDEO DIGITAL

2.2.1 Formatos progresivo y entrelazado. Las imágenes digitales formadas en una pantalla, se pueden obtener mediante dos tipos de barrido: El entrelazado (I) que utiliza dos campos y el progresivo (P) que utiliza un campo.

2.2.2 Relación de aspecto de la imagen. La relación de aspecto de la imagen (RAI) es definida como la razón de la dimensión horizontal a la dimensión vertical de la imagen (dimensiones expresadas en milímetros o pulgadas). Toma los valores de 4:3 o 16:9 para televisión. Cualquier material de programa o película puede ser acomodado dentro del formato 16:9 para producción y postproducción, distribución o exhibición.

2.2.3 Relación de aspecto de píxel. La relación de aspecto de píxel (RAP) se define como la razón del espaciamiento horizontal entre píxeles a la dimensión de espaciamiento vertical. La relación de aspecto de la imagen y el número de píxeles horizontales (PH) y líneas verticales (LV) determina el aspecto de píxel (o espaciamiento de punto) en la imagen reproducida. La relación entre la RAP y la RAI está dada por:

$$RAP = RAI \times LV/PH$$

Si RAI y LV/PH son iguales, la imagen tiene píxeles cuadrados (o muestras). En aplicaciones de video, el número de píxeles horizontales es determinado por la frecuencia de muestreo del video, la cual es un múltiplo de la frecuencia de exploración horizontal o de la subportadora. Esto resulta en pantallas de píxeles no cuadrados de señales digitalizadas [14].

2.2.4 Definición estándar. El formato de televisión de definición estándar, SDTV (Standard Definition Television), en razón de aspecto 4:3, produce imágenes de mejor calidad que la televisión analógica tradicional, sin ruidos estáticos. Si la recepción es pobre se pueden presentar efectos como el bloqueo.

2.2.5 Alta definición. El formato de televisión de alta definición HDTV (High Definition Television) es el que provee la más alta resolución y calidad de imagen de todos los formatos de radiodifusión digitales [15].

2.3 SEÑAL DE AUDIO DIGITAL

En tecnología de radiodifusión y producción la tendencia es tener estudios completamente digitales, donde la grabación, procesamiento y transmisión se realicen en el dominio digital. Para esta finalidad, un protocolo universal de

transmisión, definido en documentos del estándar AES/EBU⁴, ha sido desarrollado para permitir a todos los equipos transmitir y recibir una forma reconocible de audio digital.

El procesamiento de audio digital es adecuado, si la conversión A/D resulta en degradaciones insignificantes en la señal, la complejidad de implementación es razonable y el formato digital es apropiado para transmisión y grabación.

Al igual que en el procesamiento de la señal de video, se requieren unos pasos para la conversión de la señal de audio analógica a digital.

2.3.1 Muestreo. Muestrear consiste en medir la amplitud de una onda analógica a intervalos periódicos. La precisión en la medida es determinada por la frecuencia de muestreo, según el teorema de Nyquist-Shannon [16]. El muestreo ideal asume que el pulso tiene una duración cercana a cero. Para permitir tiempo para la conversión A/D, se pone la amplitud del valor del pulso de cada muestra hasta que llega la próxima muestra, generando una representación en forma de escalera de la señal de audio analógica, como se muestra en la figura 9.

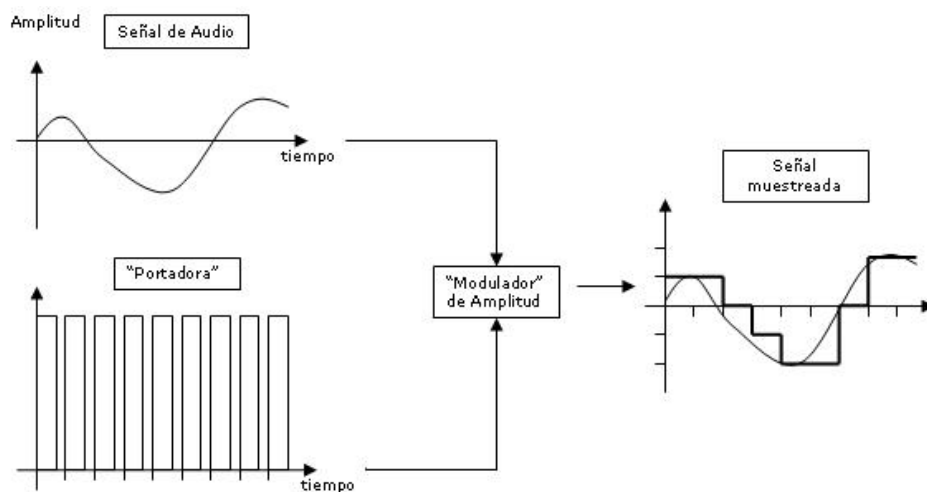


Figura 9. Representación en el dominio del tiempo del proceso de muestreo

2.3.2 Cuantización. El *cuantizador* asigna un código binario a cada muestra de la onda analógica original. Algunas consideraciones de la cuantización son:

⁴ Audio Engineering Society (AES) junto con European Broadcasting Union (EBU) han desarrollado el estándar de audio digital AES/EBU

- El valor binario representado no es simétrico para valores positivos o negativos de la señal de audio original, por lo tanto se representa en binario en complemento a dos, ya que permiten valores negativos.
- Si la amplitud de la señal de audio analógica excede el rango de cuantización, se presenta corte digital.

2.3.3 Codificación. Cada valor binario cuantizado es codificado de acuerdo con el tipo de señal muestreada y con los requerimientos de transmisión y grabación. Los sistemas de codificación más usados son modulación por código de pulso (PCM – *pulse code modulation*), modulación por ancho de pulso (PWM – *pulse width modulation*), punto flotante, y PCM diferencial (DPCM – *differential PCM*).

El sistema de codificación de audio más sencillo y el más usado es PCM, pero es también el menos eficiente. PCM cuantifica linealmente todos los intervalos de cuantización por medio de una escala fija sobre el rango de amplitud de la señal. La exactitud de la resolución de la conversión A/D (por ejemplo, 18 bits) determina el número de intervalos de cuantización (por ejemplo, $2^{18}=262.144$) disponible para la codificación de la amplitud de la señal analógica.

2.3.4 Frecuencias estándares de muestreo. Actualmente existen tres frecuencias de muestreo estándar en uso [17]:

- *32 kHz (Estándar de transmisión profesional).* Esta frecuencia de muestreo de audio digital fue seleccionada para utilizarse en líneas terrestres de suministro a transmisores de radiodifusión FM.
- *44,1 kHz (Estándar para el consumidor).* Permite la utilización de registradores de cinta VTRs U-Matic NTSC o PAL acoplados con un adaptador PCM para grabar y reproducir señales digitales de audio transformadas como ondas de video. Después, estos VTRs fueron usados para reproducir discos compactos y 44,1 kHz se convirtió en un estándar usado en sólo aplicaciones R-DAT.
- *48 kHz (Estándar de audio de radiodifusión).* Esta frecuencia tiene una relación simple a la frecuencia de 32 kHz y conversión de estándar para instalaciones. Acepta un ancho de banda analógico hasta de 22 kHz.

2.4 SERVICIOS QUE OFRECE LA TELEVISIÓN DIGITAL

2.4.1 Interactividad. Es la interacción del televidente con el programa actual, a través de información almacenada localmente o por medio de conexión por Internet para solicitar material de datos o video, que será transportado directamente a la caja decodificadora o al mismo televisor con capacidad de

almacenamiento, según sea el caso. Así el televidente podrá solicitar a través de menús programas, películas, etc. [18].

La televisión interactiva puede adaptarse a las necesidades individuales y permite que un conjunto variado de servicios sea enviado al hogar. Los servicios pueden ir desde simple información de texto como teletexto, hasta funcionalidad transaccional completa

▪ *Tipos de servicios interactivos.* Hay tres tipos de servicios interactivos que pueden ser enviados a través de DTV:

- Servicios de información sólo permanente
- Servicios transaccionales
- Servicios de programación mejorados

La diferencia de estos servicios se nota en el siguiente ejemplo: Un televidente que desea viajar podría acceder a información relacionada a través de un proveedor de servicios de viajes en un menú interactivo (servicio de información sólo permanente), luego hace una reserva de vacaciones a través del menú interactivo (servicio transaccional), o consigue más información sobre un destino de vacaciones ofrecido en un programa de viaje durante la transmisión del programa (servicio de programación mejorado)⁵.

Estos servicios o contenidos pueden ser enviados de dos formas a través de la televisión digital: transmitidos como canales de TV, uso convencional, y por video por demanda (NVOD)⁶, donde la misma programación puede ser transmitida a través de diferentes canales a ciertos intervalos de tiempo (15 minutos), permitiendo que los usuarios logren un mayor control. Servicios tales como los de HomeChoice⁷ permiten al televidente seleccionar el contenido de video que se les transmite. Este servicio brinda verdadero "Video por Demanda", y requiere una conexión de banda ancha dedicada a la televisión.

2.4.2 Televisión mejorada. Con la televisión mejorada diferentes imágenes y texto pueden ser transmitidos simultáneamente a través de un solo canal. No hay trayectoria de retorno, los televidentes pueden seleccionar combinaciones de diferentes de imágenes y texto que se muestran en la pantalla usando el control remoto. La habilidad de la televisión mejorada de ligar contenido, contexto y

⁵ Ejemplo tomado de: Alexander D. Television in the Digital Age. En: Alexander D. Digital Television: A policy framework for accessing e-government services. [Resumen Ejecutivo]. Londres: CabinetOffice Office of the e-Envoy. Diciembre de 2003. p. 8

⁶ Near Video On Demande (NVOD): vídeo casi bajo demanda

⁷ HomeChoice es una empresa europea que ofrece un paquete de suscripción para acceso a Internet, radio digital y 80 canales de televisión.

conveniencia mantiene el potencial significativo de la provisión de servicios interactivos.

La interacción con la televisión Mejorada se logra usando una línea telefónica o conexión por cable para enviar la señal desde el espectador a la programadora.

2.4.3 Vistas de información. La información más sencilla que provee la televisión digital, involucra servicios de texto, construidos sobre el mismo principio que las ofertas de la televisión analógica. El siguiente nivel de complejidad es la información ajustada específicamente a la transmisión que se está viendo, tales como estadísticas de deporte o datos de artículos de noticias. Otra aplicación es la Guía Electrónica de Programa (EPG), es un servicio basado en texto que provee programación e información al televidente.

Los usuarios también pueden acceder a un rango de sitios, que incluyen servicios de información, banca en casa, juegos y compras (involucrando la interactividad). Este rango de sitios es proporcionado por el proveedor de la plataforma específica diseñada para televisión digital, quien puede asegurar la funcionalidad, la calidad de servicio y conveniencia.

2.4.4 Acceso a Internet a través de DTV. Hay también beneficios claros a obtener de la conectividad a Internet en lo que se refiere al correo electrónico y acceso al World Wide Web.

2.4.5 Datacasting. Es una transmisión unidireccional de información IP, sobre una parte del espectro de radiodifusión, que puede consistir en audio, video, texto y gráficos. La recepción se efectúa a través de una antena convencional de TV puesta en el techo.

Es un medio híbrido que converge la transmisión de televisión e Internet, permite el envío de datos, como contenidos importantes, publicaciones, temas de legislación, entretenimiento y otros servicios por parte de diferentes organizaciones, de manera interactiva a través de la señal televisiva.

El datacasting ofrece muchas ventajas, entre ellas:

- Cubrimiento a grandes áreas: hasta 90 km alrededor de la estación transmisora.
- Alta velocidad de transmisión: hasta 19,7 Mbps
- No requiere mayor ancho de banda si aumentan los usuarios.
- No presenta congestión
- Permite llegar a poblaciones alejadas de la ciudad con dificultades geográficas, para trasladarse

2.4.6 Transmisión de múltiples programas. El servicio de Televisión Digital proporciona la capacidad para una estación emisora de ofrecer un número variable de programas de televisión, transmitidos en el mismo ancho de banda de un canal analógico actual. Esta transmisión múltiple depende del formato y la velocidad de transmisión. Las opciones de este servicio varían dependiendo de la norma de televisión que se elija (ATSC, DVB o ISDB), entre las principales se encuentran:

- Transmisión de un solo programa de televisión de alta definición (HDTV)
- Transmisión de un programa HDTV y un programa SDTV
- Transmisión de múltiples programas SDTV

2.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TELEVISIÓN DIGITAL

La capacidad de la televisión digital de unir señales de televisión con corrientes de datos en un solo programa permite producir un programa de “video mejorado”. El transporte digital conduce datos a la misma vez que el audio y el video. Los transportes digitales presentan mayor confiabilidad que los analógicos, ya que incluyen dentro de sus esquemas, algoritmos de corrección avanzada de errores (*Forward Error Correction - FEC*), aumentando la robustez de la señal recibida, garantizando la integridad del flujo de datos y mejora en la calidad del servicio [19].

2.5.1 Ventajas de televisión digital. Estas son algunas de las principales ventajas que presenta la televisión digital:

- Eficiencia en la transmisión
- Recepción sencilla y poco costosa, emplea la misma antena que la televisión analógica
- Servicio de recepción de datos móvil y en dispositivos portátiles.
- Empleo de redes de frecuencia única
- Menor potencia de transmisión
- Transmisión de múltiples programas y servicios multimedia en un canal
- Mejora de la calidad de imagen y de sonido, señal digital robusta frente al ruido, interferencias y propagación de multitrayectoria
- Mayor resolución espacial y aumento en la relación de aspecto
- Sonido multicanal con calidad de disco compacto. La multiplicidad de canales brinda un efecto de sonido envolvente como el que se percibe en una sala de cine, además permite transmitir múltiples idiomas para un mismo programa de video.
- El televisor puede servir como un terminal multimedia y de interactividad que admite datos de diferentes servicios, como: correo electrónico, cotizaciones de bolsa, videoteléfono, guías electrónicas de programas (EPG), teletexto, pay per view, etc.

- Facilita servicios de ámbito local, regional y nacional, además de ampliar un servicio a nivel universal.
- Posibilidad de transmitir en formatos HDTV y SDTV.
- Los medios proporcionados por la televisión digital dan una oportunidad para la integración de contenido de radiodifusión tradicional con los servicios de información interactivos. Esto traerá las oportunidades para la socialización entre los proveedores de estos servicios. Habrá nuevas oportunidades del diseño del espectro a través del plan de dirección. Además la convergencia de televisión e información proporciona a los fabricantes de equipo una oportunidad de producir nuevos tipos de dispositivos integrados.

2.5.2 Desventajas de la Televisión Digital. Las desventajas que puede presentar la televisión digital están relacionadas con implicaciones económicas tanto para usuarios como para los entes involucrados en producción, transmisión y edición. Algunas de las desventajas que se pueden mencionar son:

- Es necesario un re-equipamiento y una reinstalación de estaciones transmisoras, para que exista una transmisión simultánea analógico/digital.
- Es necesario hacer un cambio de televisores, lo que genera un gasto de divisas por importaciones.
- A la hora de la implementación, las características topográficas de las ciudades, la asignación de canales preexistentes, las características de interferencias de otros servicios, la modalidad en la distribución de los contenidos por redes afectan de manera negativa el rendimiento del servicio de televisión
- En cuanto a la transmisión de la señal, las imágenes pixeladas pueden aparecer. Además, si la señal está por debajo del 30%, la imagen y el sonido se entrecortan, lo que impide ver el canal. Si el nivel de la señal baja un poco más, se pierde la imagen y el sonido totalmente.
- Si no se tiene la tecnología adecuada es poco probable garantizar cobertura similar a la analógica.
- Los servicios de interactividad requieren pago de patentes.
- Satisfacer completamente los requerimientos y gustos particulares del televidente.
- Una pantalla de televisión, aunque más grande, tiene una mucha más baja resolución y un menor ángulo de visión que un monitor de computador. Para el despliegue de texto, éste debe ser mucho más grande en la televisión; los monitores de computadores y televisores despliegan sus imágenes de forma diferente. Con la televisión, la pantalla usa un despliegue entrelazado, diseñado para mostrar imágenes en movimiento, pero esto puede causar detalle fino y fluctuación de líneas horizontales en las pantallas de estática.
- El contenido Web visto en una televisión probablemente no va a ser una experiencia fascinante a menos que el contenido esté diseñado específicamente con las restricciones tomadas en consideración.

- Las cajas decodificadoras (Set Top Box STB) no presentan compatibilidad con el sistema analógico.

2.6 SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL

El sistema de televisión digital incorpora nuevas etapas en el proceso de la transmisión de la señal. Las señales de audio y video son digitalizadas, los datos obtenidos con la digitalización son comprimidos de forma individual y luego multiplexados para obtener un solo flujo de bits, el cual es modulado y transmitido en el mismo ancho de banda de un canal analógico. En la recepción, la señal entra a un decodificador (Set Top Box) para que sea mostrada mediante el receptor de televisión. Estas etapas serán descritas en un capítulo posterior. En las figuras 10 y 11 se presenta un breve esquema de los sistemas de televisión analógica y digital, en donde se identifican las diferencias más significativas entre estos.

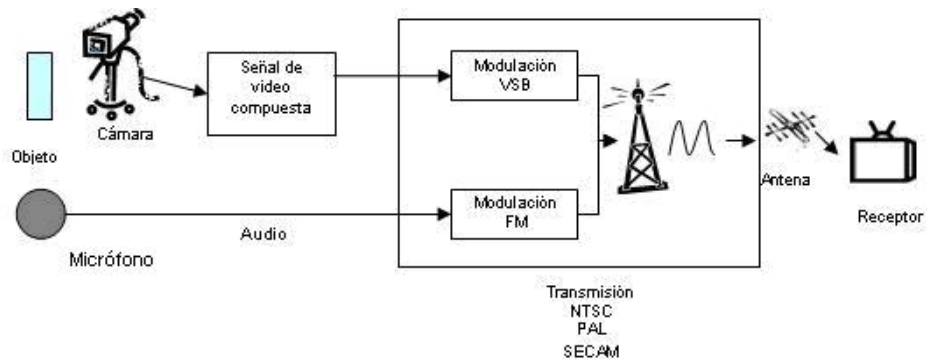


Figura 10. Sistema de TV Analógica

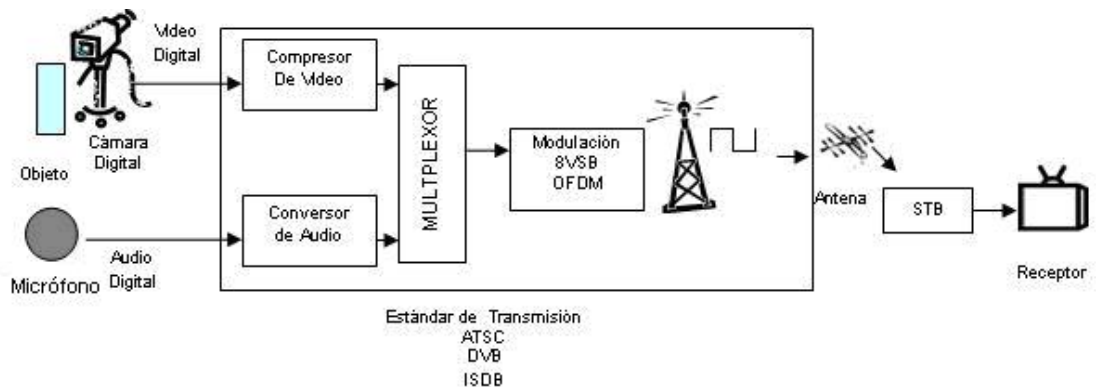


Figura 11. Sistema de TV Digital

2.7 COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS ANALÓGICO Y DIGITAL

La televisión digital trae nuevas características como transmisión de video y audio de mayor calidad, y datos auxiliares en el mismo canal de transmisión. Adicionalmente presenta ventajas que permiten mejorar los defectos que se presentan en las transmisiones actuales de televisión analógica, ofreciendo nuevos servicios. En la tabla 3 se presenta una comparación de las características de la televisión digital y de la televisión analógica [20], [21].

Tabla 3. Televisión Digital Vs. Televisión Analógica

CARACTERÍSTICA	TELEVISIÓN ANALÓGICA	TELEVISIÓN DIGITAL
Calidad de imagen	Puede sufrir algunos defectos de imagen nieve, imágenes dobles, etc. Estos efectos se presentan en lugares con poca recepción de señal.	Ofrece imágenes más definidas, limpias y claras, Eliminando defectos de nieve, imágenes dobles, etc.
Resolución	720x480 Píxeles	1920x1080 Píxeles 640x480 Píxeles
Calidad de sonido	Generalmente transmite audio estéreo (dos canales)	Audio Estéreo, con la posibilidad de sonido envolvente multicanal (hasta 5.1 canales)
Formatos de Televisión	Ofrece transmisión en definición estándar de un solo programa. Sin embargo algunos países han podido transmitir señales analógicas de alta definición	Permite la distribución de señales de televisión de Alta Definición (HDTV) y/o de Definición Estándar (SDTV).
Número de programas	Sólo un programa de definición estándar.	Permite un número variable de programas en función de la velocidad de transmisión, oscilando entre un programa HDTV y/o múltiples programas SDTV
Recepción	La señal se recibe mediante una antena aérea y un televisor analógico	La señal es recibida mediante una antena aérea y una de las opciones: una caja convertidora (STB) conectada al televisor analógico o un televisor

		digital integrado con decodificador incorporado.
Potencia Transmitida	Consumo de mayor potencia, debido a las características de la señal analógica. Normalmente 100 kW	Consumo de menor potencia, debido a que las señales digitales son medidas con potencia promedio. Aproximadamente la décima parte de la potencia analógica.
Estándares de Transmisión	NTSC (National Television System Committee), PAL (Phase Alternating Line), SECAM (Séquentiel Couleur Avec Mémoire)	ATSC (Advanced Television System Committee), DVB (Digital Video Broadcasting), ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting)
Ancho de Banda	NTSC: 6 MHz PAL: 8 MHz SECAM: 7 MHz	ATSC: 6 MHz DVB: Inicialmente 8 MHz. ISDB: 6 MHz
Utilización del Espectro	Utiliza el doble del ancho de banda asignado para el estándar con el fin de evitar la interferencia con canales adyacentes.	Utiliza sólo el ancho de banda asignado para el estándar.

2.8 FORMAS DE DISTRIBUCIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL

Actualmente las señales de televisión son radiodifundidas por tres medios: ondas aéreas, sistemas satelitales y cable digital [22].

2.8.1 Televisión Digital Terrestre TDT. En esta plataforma, la radiodifusión de señales de televisión en los canales UHF/VHF usa torres de transmisión en una red terrestre, tradicionalmente es la forma de distribución más usada y conocida. Para la recepción se utilizan antenas aéreas ubicadas en el techo de las casas.

Es posible utilizar antiguos planes de servicio de telefonía (POTS – Plain Old Telephony Services) como trayectoria de retorno para ofrecer servicios interactivos. En la figura 12 se muestra un esquema del sistema de televisión digital terrestre que incorpora el proceso de recepción utilizando servicio telefónico.

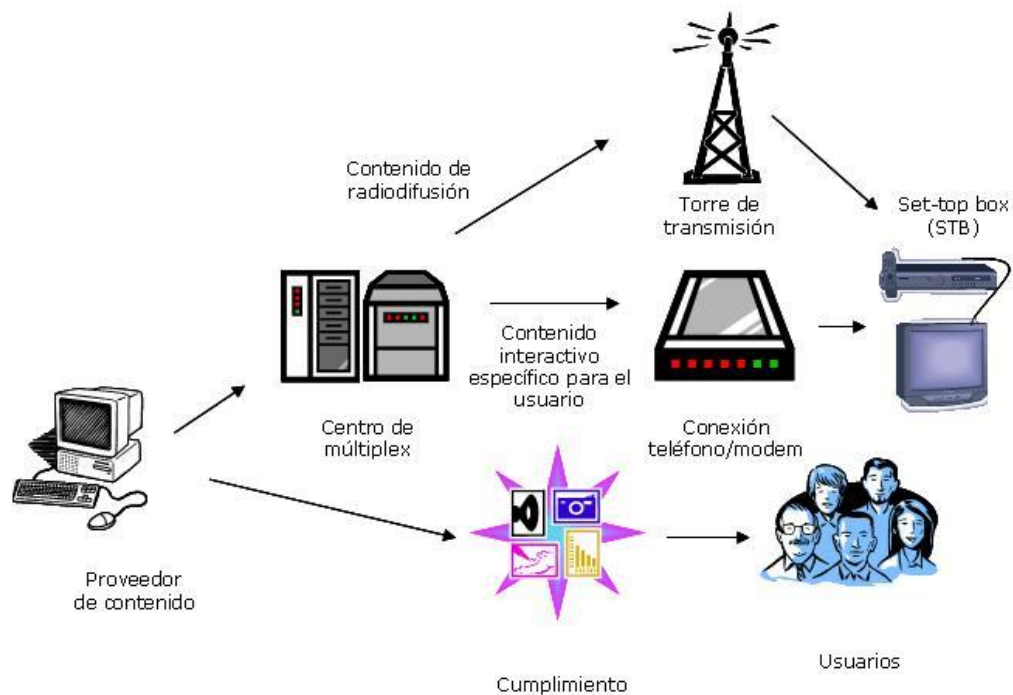


Figura 12. Televisión Digital Terrestre

2.8.2 Televisión Digital Satelital. En las últimas décadas se ha desarrollado rápidamente la distribución por satélite de las señales de televisión –primero sólo para televisión analógica pero cada vez más para televisión digital. Para recibir este tipo de servicio, el consumidor requiere una antena satelital y una caja convertidora (analógica o digital) para tener acceso a programas por medio de la así llamada recepción Directo al hogar (DTH – Direct to Home).

Como para la distribución terrestre también es posible usar POTS como trayectoria de retorno para ofrecer servicios interactivos. La figura 13 muestra las partes involucradas en los procesos de transmisión y recepción de la señal digital televisiva en esta plataforma.

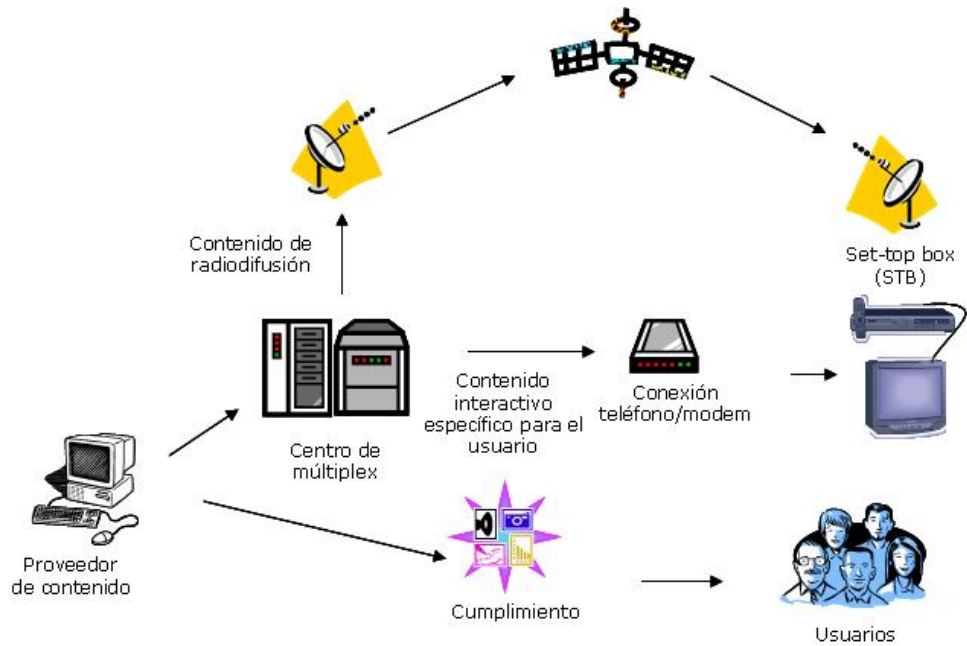


Figura 13. Televisión Digital Satelital

2.8.3 Televisión Digital por Cable. La televisión digital por cable está muy bien desarrollada en muchos países y la penetración está asociada con las características geográficas del país y la concentración de la población. Los proveedores de red por cable componen sus servicios de televisión reuniéndolos desde distribución satelital y terrestre. Algunos servicios de televisión son sólo distribuidos en la red de cable. La figura 14 muestra cómo es el proceso de televisión digital por cable desde la transmisión de la señal hasta su recepción por parte de los usuarios.

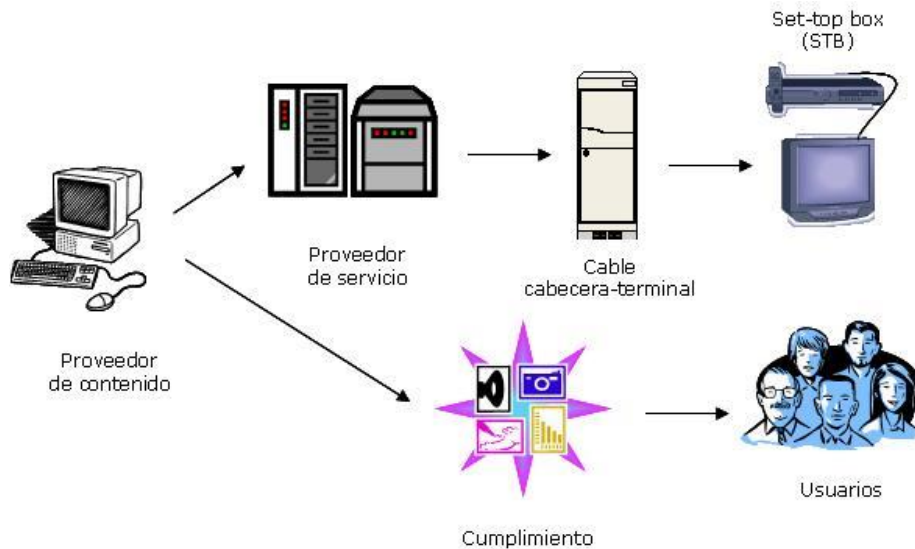


Figura 14. Televisión Digital por Cable

2.8.4 Ventajas y desventajas. En la tabla 4 se resumen las principales ventajas y desventajas de las tres plataformas de distribución de TV digital.

Tabla 4. Ventajas y desventajas de las plataformas de televisión digital

	Terrestre	Satelital	Cable
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> • La señal puede ser recibida usando sólo antenas aéreas puestas en el techo de los hogares, proporcionando oportunidad de acceso para toda la población. • Posibilidad para recepción portátil y móvil. • La dirección de la señal hacia áreas limitadas (TV local y regional) puede realizarse en forma de costo eficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los programas de televisión pueden ser transmitidos con alta calidad técnica y pueden ser fuera de las fronteras de un país. • Debido a la alta capacidad hay oportunidad de radiodifundir más televisión y otros servicios digitales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta capacidad en la red de cable • Plataforma óptima para provisión de servicios de datos e interactividad. En contraste con la distribución satelital y terrestre la trayectoria de retorno está integrada en la red.
DESVENTAJAS	<p>La capacidad limitada inmediatamente disponible para televisión digital, el número de servicios digitales es un parámetro que ejerce interés en la inversión en equipo digital.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de invertir en antenas satelitales, encontrar un lugar para instalar la antena satelital puede ser una carga económica y un problema poco práctico. • No es apropiada para recepción portátil y móvil. • Los problemas de derecho de copia en la conexión dentro del área de recepción pueden forzar a los proveedores a codificar sus programas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Es difícil asumir que la penetración será del 100%. Así continuará existiendo gente sin acceso a las redes de cable. • Solo es posible recepción estacionaria.

3. SISTEMA DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE

La plataforma de enfoque para este estudio es la Televisión Digital Terrestre (TDT), gracias a las ventajas que ofrece en comparación con la Televisión por Cable y la Satelital.

Asociados a esta plataforma de distribución, están los tres estándares de televisión mencionados en el capítulo anterior, ATSC (Advanced Television System Committee), DVB-T (Terrestrial Digital Video Broadcasting) e ISDB-T (Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting). Fueron desarrollados simultáneamente en diferentes partes del mundo con base en un sistema propuesto por el grupo de expertos 11/3 de la Unión Internacional de las Telecomunicaciones Sector Radiocomunicaciones (*ITU-R Task Group 11/3*) [23] [24],

El sistema de TDT se divide en cuatro etapas, cada una de ellas describe los procesos elementales y normas utilizadas para la transmisión de la señal de televisión digital. Las cuatro etapas del modelo de TDT se pueden observar en la figura 15.

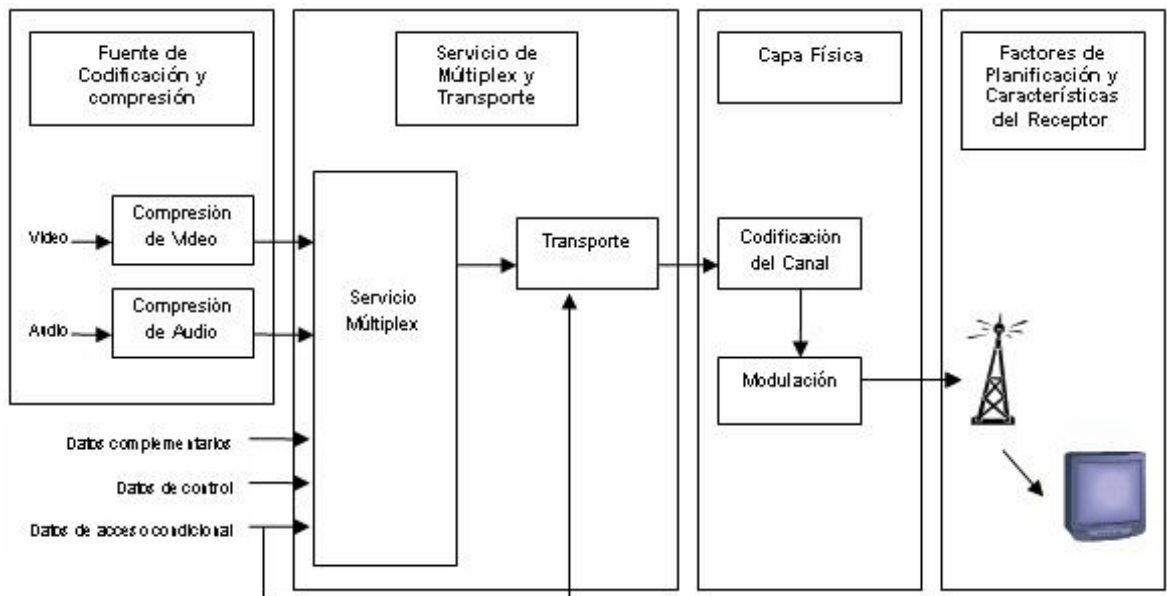


Figura 15. Sistema de Televisión Digital Terrestre

3.1 FUENTE DE CODIFICACIÓN Y COMPRESIÓN

El propósito de esta primera etapa es convertir el audio y video en datos y minimizar el número de bits necesario para representar la información y así poderlos transmitir en los canales terrestres. Esto se puede llevar a cabo mediante los procesos de Codificación y Compresión. Aquí, los flujos independientes de audio y video entran a un compresor, que utiliza la redundancia inherente en las señales para reducir la cantidad de datos que van a ser transmitidos.

3.1.1 La necesidad de Compresión. El Sistema de TDT está diseñado para transmitir señales de video y audio digital, de mayor calidad sobre un canal terrestre de 6, 7 u 8 MHz. Estas señales pueden generarse digitalmente o pueden ser señales analógicas codificadas digitalmente. Sin embargo, si estas fueran transmitidas sin ser comprimidas, los anchos de banda que ocuparían los canales digitales serían mayores que los analógicos. Por esto, es necesario comprimir los flujos de bits, ya que mediante esta técnica se reducen los datos sin degradar la calidad del video o del audio, y así poder ser transmitidos en el mismo ancho de banda de los canales analógicos actuales.

Como se describió en el capítulo anterior, existen diferentes tipos de compresión, independientes para audio y video. En el desarrollo de esta sección se van a presentar las normas MPEG-2⁽⁸⁾ para video, MPEG-2 y AC-3 para audio, ya que estas son las utilizadas en los estándares actuales de TDT.

3.1.2 Compresión de Video y Norma MPEG-2. La norma de compresión de video utilizada en los tres estándares actuales de TDT es MPEG-2, desarrollada por el Grupo de Expertos en imágenes en movimiento MPEG y definida en la norma ISO/IEC 13818-2 en la cual se describen las especificaciones para la compresión y la descompresión de las señales de video.

MPEG-2 es un tipo de compresión con pérdida⁹ que permite la codificación para definición estándar (SD) con velocidades entre 3 y 6 Mbps, y para alta definición (HD) con velocidades entre 18 y 20 Mbps; proporcionando la posibilidad de transmitir mediante un solo flujo MPEG-2 varios programas simultáneos de SD, un programa HD, o un programa HD y varios SD, dependiendo del ancho de banda y estándar de transmisión que se implemente [25].

La norma de compresión de video MPEG-2 se organiza en sistema de perfiles y niveles, los **perfiles** determinan la relación de compresión y los **niveles** la resolución de la imagen. La combinación de los perfiles con los niveles especifica los parámetros de compresión de video [23].

⁸ Moving Picture Experts Group

⁹ La compresión con pérdida hace referencia al algoritmo que tiene como objetivo representar cierta cantidad de información utilizando una menor cantidad de la misma

Para efectuar la compresión espacial y temporal, MPEG-2 toma el video digital de entrada y los procesa en tres tipos de imágenes I (Intra-codificadas), B (Bidireccionales) y P (Predichas).

Los tipos de perfiles y niveles más importantes utilizado en el estándar MPEG-2 se describen en las tablas 5 y 6.

Tabla 5. Perfiles MPEG-2

Tipo de Perfil	Imágenes utilizadas	Calidad	Características del codificador	Estructura de Muestreo
Perfil Bajo (Low Profile)	I, P	Calidad pobre porque no utiliza imágenes B	Simple en complejidad y precio	4:2:0
Perfil Principal (Main Profile)	I, B y P	Superior comparado con el Perfil Bajo. Tiene el mejor desempeño en la relación Calidad/Relación de compresión	Más complejo y de mayor costo	4:2:0
Perfil Alto (High Profile)	I, B y P	Superior y compatible con los otros perfiles	Mayor complejidad y Costo	4:2:0 y 4:2:2

Tabla 6. Niveles MPEG-2

Tipo de Nivel	Resolución	Máxima Tasa de Bits	Característica
Nivel Bajo (Low Level)	Menor	4 Mbps	Soporta hasta 352 muestras por línea por 288 líneas activas
Nivel Principal (Main Level)	Mayor	15 a 20 Mbps	Soporta hasta 720 muestras por línea por 576 líneas activas. Utilizado por SDTV
Nivel Alto (1440 High Level)	Alta	60 a 80 Mbps	Soporta hasta 1440 muestras por línea por 1152 líneas activas. Utilizado por HDTV
Nivel Alto (High Level)	Alta	80 a 100 Mbps	Soporta hasta 1920 muestras por línea por 1152 líneas activas. Utilizado por HDTV

La compresión es efectuada mediante un algoritmo DCT (Transformada discreta del coseno) con compensación de movimiento y predicción de cuadros B. El codificador de video mantiene el rango de estimación de movimiento amplio necesario para formatos de película. Emplea codificación de fuente adaptativa, vectores de movimiento de campo y cuadro, y otras técnicas para mejorar la eficiencia de la compresión.

3.1.3 Compresión de Audio. Actualmente existen dos normas para compresión de Audio utilizadas por los estándares de transmisión de TDT: MPEG-2 y Dolby AC-3, las cuales están definidas en la recomendación de la UIT¹⁰ UIT-R BS.1196-1 [26].

▪ *Compresión MPEG-2 para Audio.* La compresión de audio MPEG-2 está definida en la norma ISO/IEC 13818-3 y describe las especificaciones para la compresión y la descompresión de las señales. La principal característica de MPEG-2 y la cual difiere de MPEG-1 es que permite la codificación multicanal y compatibilidad del decodificador con las señales mono y/o estéreo de MPEG-1.

MPEG-2 ofrece la codificación para cinco canales de audio de audio principales y uno para bajas frecuencias. Las configuraciones típicas para sistemas estereofónicos multicanales son:

- 1 Canal modo 1/0: Mono
- 2 Canales estéreo 2/0: izquierdo y derecho
- 3 Canales estéreo 3/0: izquierdo, derecho y centro
- 4 Canales estéreo 3/1: izquierdo, derecho, centro y posterior
- 5 Canales estéreo 3/2: izquierdo, derecho, centro, posteriores izquierdo y derecho
- 5.1 Canales estéreo 3/2: izquierda, derecha, centro, posteriores izquierdo y derecho, y un canal de baja frecuencia.

La norma MPEG-2 para audio, está organizada en tres capas, cada una está definida por la calidad y su propio grado de compresión, y se utilizan para alguna aplicación específica. La capa I conocida como MUSICAM y es utilizada en aplicaciones de compresión leve y bajo costo. La capa II define un estándar genérico para compresión multicanal para la radiodifusión de audio digital. La capa III es la más compleja y se define para aplicaciones reservadas que requieran mayor calidad de audio con mayor grado de compresión. La capa II de la norma MPEG-2 es la utilizada en los estándares de televisión digital DVB e ISDB y es también utilizada para las normas de radio digital.

Cada capa MPEG-2 define la estructura de la información codificada (tasa de muestreo, tasa de bits) y también la forma en que esta información debe ser

¹⁰ Unión Internacional de las Telecomunicaciones

transportada. La tasa de bits utilizada en la norma ISO/IEC 13818-3 utiliza velocidades de 8 a 160 kbps por canal [25].

Las características de la duración de la trama de audio para las tres capas de MPEG-2 se observan en la tabla 7.

Tabla 7. Duración de la trama de audio MPEG-2

Capa	Frecuencia de muestreo en kHz		
	16	22,05	24
I	24 ms	17,41 ms	16 ms
II	72 ms	52,24 ms	48 ms
III	36 ms	26,12 ms	24 ms

▪ *Estándar AAC.* El estándar de Codificación de Audio Avanzado (AAC, Advanced Audio Coding) es el más reciente desarrollo de MPEG y es una extensión de la capa II del estándar para audio MPEG-2, con mejoras para la señal de sonido surround y mayores ganancias de codificación.

El algoritmo AAC es utilizado para audio de alta calidad reduciendo el número de datos con frecuencias de muestreo de 8 Hz a 96 kHz. Utiliza la Transformada discreta del Coseno Modificada (MDCT) y tiene mayor capacidad de codificación con corrientes de pulsos complejos y ondas cuadradas, comparado con MP3 o MUSICAM [25].

▪ *Compresión AC-3 para Audio.* La compresión de audio AC-3 está definida en el documento ATSC A/52B [27]. Este formato de compresión fue desarrollado por los laboratorios Dolby de Estados Unidos y es el utilizado por el estándar ATSC para TDT. Algunas características principales de la compresión AC-3 son:

- Compatible con muchas aplicaciones de audio/video
- Se pueden codificar hasta seis canales de audio digital (denominados 5.1) transformándolos en un flujo de bits en serie con velocidad de datos comprendidas entre 32 kbps y 640 kbps.
- El canal 0,1 se refiere a un canal provisto para transportar únicamente señales de baja frecuencia (sonidos graves) y está limitado a 120 Hz
- Los canales de audio de entrada corresponden a izquierdo (L), derecho (R), central (C), envolvente (*surround*) izquierdo (LS), envolvente derecho (RS) y énfasis en baja frecuencia (LFE).
- Cada canal está limitado a 20 kHz con excepción del canal LFE
- Reduce en más de trece veces el ancho de banda y la potencia requeridas por la transmisión.

- Es posible enviar otras combinaciones de señales de audio, siempre que no se exceda la tasa máxima total de 448 kbps.
- El codificador AC-3 acepta a su entrada una señal audio MIC y genera un tren de bits codificados coherente con esta norma [26]

3.2 SERVICIO DE MÚLTIPLEX Y TRANSPORTE

Esta etapa del sistema es la encargada de multiplexar los flujos de bits individuales de video, audio y datos auxiliares para convertirlos en uno solo y ser transportados por un solo canal. El formato MPEG-2 para múltiplex de transporte es el utilizado en los tres estándares actuales de TDT y es el definido para la televisión digital en la recomendación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT-R BT.1209-1 [28], [29].

3.2.1 MPEG-2 para Múltiplex y Transporte. El esquema de multiplexación MPEG-2 se encuentra especificado en la Norma ISO/IEC 13818-1 [30] y divide los flujos elementales de audio, video y datos auxiliares dentro de paquetes de información, cada uno identificado de forma única. Esta norma define los requerimientos para Sistema de múltiplex definiendo un esquema basado en un método de trenes de transporte de longitud fija (Transport Stream). Esta norma también define el flujo de programa (Program Stream), y formato del paquete PES.

3.2.2 Terminología.

- *Programa (Program).* MPEG define programa como un servicio o canal simple de radiodifusión¹¹.
- *Flujo Elemental (Elementary Stream ES).* Es el nombre dado a cada componente simple de un programa, después de haber sido codificado digitalmente y comprimido por MPEG-2.
- *Flujo Elemental Empaquetado (Packetized Elementary Stream PES).* Es el flujo de paquetes de datos que ha sido formado mediante el empaquetamiento de los ESs. Cada PES se obtiene directamente de cada ES, y éstos son independientes, por tanto existirá un PES por cada ES original. Los flujos utilizados en el sistema de Múltiplex MPEG-2 se forman a partir de los PES de video, audio y datos. En la figura 16 se muestra un diagrama de PES formados para audio y video individualmente.

¹¹ El desarrollo de esta sección se hizo con base en las referencias [23], [28], [29] y [30].

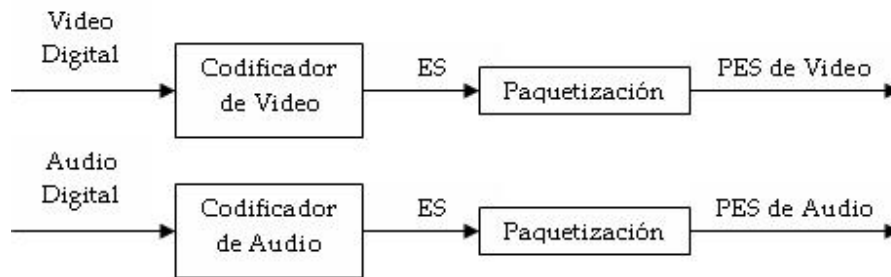


Figura 16. Formación de los PES a partir de los flujos individuales de bits

- *Flujos de programa PS (Programa Stream)*. Son los flujos que se crean a partir de uno o varios PES individuales que pertenecen al mismo programa audiovisual. Los PS utilizan paquetes de longitud variable como se muestra en la figura 17. Los paquetes PS no son utilizados en transmisión debido a la gran longitud que pueden llegar a tener haciéndolos más propensos a errores.



Figura 17. Flujo de Programa.

En la figura 18 se puede observar la creación del flujo de Programa PS mediante la multiplexación de los PES individuales de un mismo programa.



Figura 18. Creación del flujo de programa

- *Flujo de Transporte TS (Transporte Stream)*. El flujo de transporte corresponde al flujo final de bits que va a ser transmitido y utiliza paquetes de longitud fija (Figura 19) de 188 bytes, cada uno con 4 bytes de cabecera, este puede ser generado por los PESs individuales o mediante los PSs.



Figura 19. Flujo de Transporte

El encabezado se inicia con un byte de sincronismo (*sync*) que proporciona una secuencia de inicio del reloj para el paquete. En el encabezado se encuentra la información necesaria para desempaquetar los distintos programas y reproducir el flujo elemental PES en el receptor. En la tabla 8 se encuentra las características de la cabecera del paquete MPEG-2.

Tabla 8. Característica de la cabecera del paquete de transporte MPEG-2

Campo	Bits	Función
Palabra de Sincronismo	8	Secuencia de inicio de encabezado
Indicador de errores	1	Indica error en etapas previas
PSI	1	Indicador de inicio de la unidad de carga útil
Prioridad	1	Indica prioridad de transporte
PID	13	Identificador de paquetes, indica el contenido del paquete
Control de cifrado	2	Indica el tipo de cifrado utilizado
Campo de adaptación	1	Indica la presencia de un campo de adaptación
Indicador de carga útil	1	Indica la presencia de datos de carga útil en el paquete
Contador de continuidad	4	Mantiene la cuenta de proporciones de PES truncadas

- *Identificador del programa (PID)*. Cada paquete de flujo de transporte posee un código identificador del paquete (PID). Los paquetes que son del mismo flujo elemental (ES) tienen el mismo PID. De esta manera el decodificador puede seleccionar y reordenar los distintos flujos.

- *Información Específica de los Programas (PSI)*. Para que el decodificador pueda recuperar completamente un programa a través de los valores de los PID de los paquetes correspondientes, se debe incluir información adicional dentro del flujo de transporte que relacione estos PID con los programas a que pertenecen. Tal información se denomina "*Información Específica del Programa (Program Specific Information, PSI)*". Los PSI comprenden la inclusión dentro del flujo de transporte en cuatro tipos de tablas:

- Tabla de Asociación del Programa. (*Program Association Table, PAT*)
- Tabla de Acceso Condicional. (*Conditional Access Table , CAT*)
- Tabla de Mapa del Programa (*Program Map Table, PMT*)
- Privada. (*Private*)

La formación del flujo de transporte (TS) se puede dar de dos formas. En la primera (Figura 20), el TS se forman partir de los paquetes PES. Aquí las porciones de paquetes de 188 bytes se toman de los distintos PES en forma

aleatoria y siguiendo la secuencia programada en el Múltiplex de Flujo de Transporte.

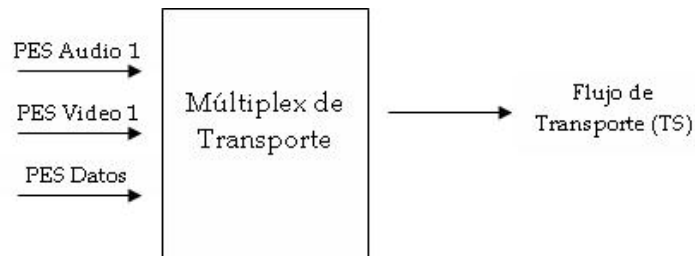


Figura 20. Formación del TS a partir de los PES

En la segunda (figura 21) el TS se forma con la multiplexación de los distintos flujos de programas (PS) en el Múltiplex de Transporte.

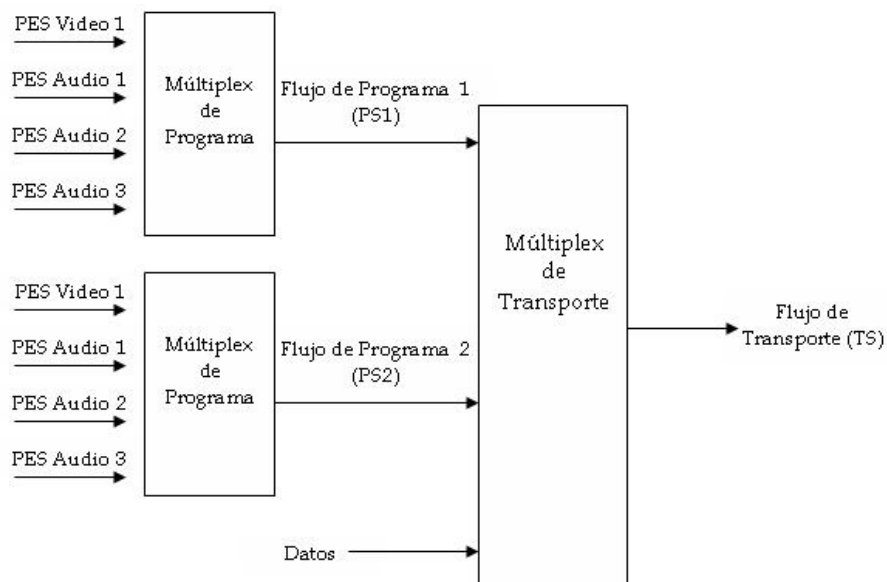


Figura 21. Múltiplex de Transporte a partir de los PS

Las interfaces que comúnmente se utilizan para el Flujo de transporte son:

- *Interfaz Paralela Síncrona (SPI)*. La cual tiene 11 señales contemporáneas: 8 datos de señales (Parallel Data Path), 1 señal de reloj, 1 señal de sincronismo (Psync) y 1 señal que identifica cuando se transmiten datos válidos (Dvalid). La tasa de bits es variable (Máx. 108 Mbps en Data Path) y el conector normal para esta interfaz es 25 pines [31].
- *Interfaz Serial Asíncrona (ASI)*. Esta es la interfaz más comúnmente usada y tiene una tasa de bits constante a 270 Mbps que trabaja en una sola línea coaxial

desequilibrada (impedancia 75 Ohms). Su conector normal es BNC. Esta interfaz se usa para las conexiones entre las diferentes partes del de equipo, incluso cuando estén separadas por distancias largas.

3.2.3 Datos complementarios. La flexibilidad de MPEG-2 permite transmitir nuevos servicios que pueden ser transmitidos en el mismo canal del programa y se incorporan en el Servicio de Múltiplex y Transporte. Los datos complementarios incluyen datos de control del sistema, control de acceso condicional y datos asociados con los servicios de programación de audio y video, como subtítulos y teletexto. También pueden referirse a servicios independientes asociados a la programación, como imágenes o texto que proporcionen información adicional relacionada con el servicio principal [23]. En la Tabla 9 se definen los principales servicios de datos complementarios.

Tabla 9. Servicios de datos complementarios

Servicio	Característica
Basado en texto	Subtítulos de programas (closed captions) y mensajes emergentes
Información guía de programa	Permite al receptor construir una plantilla sobre la pantalla de la información de programa. Clasificación de programa e información de categoría y subcategoría de tema provistos por cada caso de programación a través de siete tipos de registros de datos nulos por defecto, cada uno estimado con 16 niveles, tales como categoría, subcategoría, advertencia de contenido, violencia, contenido sexual, lenguaje y clasificaciones.
Información de control del sistema	Puede permitir interoperabilidad con otras aplicaciones tales como cable, satélite, servicio de distribución multicanal multipunto (MMDS) y televisión por antena principal satelital (SMATV). Información en flujos de transporte disponibles y sus componentes facilitarán al operador de red control de múltiples flujos de transporte
Servicios adicionales futuros	Datos privados, esta capacidad opcional permite la extensión necesaria para nuevas oportunidades de negocio y nuevos servicios. Los distribuidores de televisión pueden competir mejor ofreciendo un conjunto único de servicios en el futuro.

3.3 LA CAPA FÍSICA

La capa física especifica los procesos de Codificación del canal y Modulación, los cuales varían para cada estándar de transmisión de TDT. En la figura 22 se describe un diagrama de bloques de las principales funciones de esta etapa.

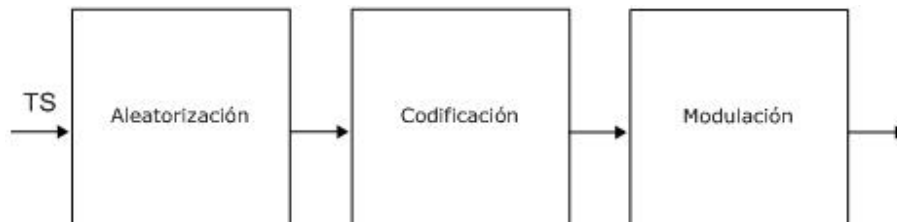


Figura 22. Principales funciones de la capa física.

3.3.1 Codificación del Canal. La codificación del canal se usa para reducir los errores resultantes del proceso de modulación [23]. La presencia de diversas fuentes de interferencia generalmente requiere el uso de estrategias sofisticadas de codificación de errores usando códigos sencillos o concatenados.

Este proceso puede variar dependiendo del tipo de modulación que implemente el sistema, agregándole algunas etapas ya que la secuencia que se transmite no es la misma. Para modulación de una sola portadora se transmite una secuencia para lograr la convergencia del ecualizador adaptativo y la sincronización del sistema. Para modulación de múltiple portadora las señales de referencia son transmitidas para obtener información del canal, de esta forma se logra la ecualización en el dominio de la frecuencia y la sincronización.

La *aleatorización* ordena los valores del flujo TS que sale de Multiplexor de Transporte, de tal forma que garantiza que no haya uniformidad en el valor de los datos (grandes flujos de bits en uno o en cero). El flujo aleatorio se incorpora en un proceso de *codificación del canal* el cual introduce cierta redundancia que permite la corrección de errores en el receptor. La codificación puede ser interna o externa, introduce un proceso de entrelazado y su implementación depende del tipo de modulación que se utilice.

En la tabla 10 se resumen las características principales de este esquema de codificación.

Tabla 10. Codificación del canal

Codificación Interna	Los códigos Trellis son los códigos de modulación internos comúnmente más propuestos. El código interno de la corrección de error es un código convolucional, este código puede ser decodificado usando el algoritmo de decodificación Viterbi
Codificación Externa	Aunque se han propuesto diferentes longitudes de bloque y distancias de corrección, los códigos de Reed Solomon (RS) son los implementados para la codificación externa. Los códigos RS han sido especificados para corregir los errores de ráfaga
Entrelazado interno	El propósito del entrelazador interno es mejorar el desempeño del sistema cuando el canal es sujeto a desvanecimiento selectivo de frecuencia o interferencia co-canal. El entrelazador debe esparcir grupos de errores causados por portadoras con razones S/N o S/I relativamente pobres.

3.3.2 Modulación. Las técnicas de modulación proporcionan el mecanismo mediante el cual el flujo de datos protegido es impuesto en una portadora modulada a una alta velocidad de transmisión de datos o múltiples señales portadoras moduladas a velocidades relativamente más bajas, para ser transmitidas por el canal (6, 7 u 8 MHz de ancho de banda dependiendo del estándar de transmisión) [23].

En los tres estándares para televisión digital se utilizan dos técnicas de modulación: 8-VSB (Banda Lateral Vestigial de 8 niveles de amplitud), que utiliza modulación de una sola portadora, para el estándar ATSC, y COFDM (Codec Orthogonal Frequency Division Multiplex).

▪ *Conceptos generales.*

- *Símbolos.* En todos los esquemas de modulaciones digitales la portadora se mueve por varias posiciones predefinidas de amplitud y fase, conocidos como *símbolos*. Cada posición representa una sucesión del TS transmitido. Para describir las posiciones de amplitud y fase se utiliza un diagrama de constelaciones.
- *Velocidad de Transmisión (Symbol Rate).* Hace referencia al número de posiciones diferentes de fase y amplitud que la portadora puede tener en el diagrama de constelación. Según el esquema de modulación empleado, los datos del TS se transmiten en sucesiones de 2, 3, 4 ó 6 bits. La frecuencia de los datos (bit rate) del flujo de transporte de la entrada a los moduladores digitales, depende del esquema de modulación empleado, en los parámetros de velocidad de símbolo y cantidad de datos agregada para corrección de errores, es decir la velocidad de código (code rate).

- *Modulación 8-VSB.* Este método de modulación provee un medio para la transmisión de una señal banda base de ocho niveles a una alta velocidad de transferencia de datos de 19,29 Mbps que son enviados en un canal de 6 MHz. Cada posición de la amplitud de la portadora corresponde a 3 bits [32].

Es un esquema de modulación con una sola portadora donde la mayoría de la banda lateral inferior es removida del espectro de la señal para la transmisión. Es generalmente considerado como un sistema muy robusto debido a la presencia de una señal piloto que ayuda a los receptores a demodular la señal en condiciones de recepción pobre.

8-VSB es el esquema de modulación utilizado por el estándar de transmisión de televisión digital ATSC. El proceso de modulación será descrito con más detalle en el capítulo 4.

- *Modulación OFDM.* OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – Multiplexación por División en Frecuencia Ortogonal) es un sistema de modulación con un gran número de portadoras, cada una modulada a una baja velocidad de bits. La distribución del flujo binario entre varias portadoras permite que cada una de ellas maneje una velocidad de datos reducida con respecto al flujo total. En consecuencia, la duración de los símbolos aumenta comparada con la modulación una sola portadora, lo que permite que la señal sea muy robusta frente a interferencias por trayectos múltiples (ecos) ya que el retardo de éstos resulta ser muy pequeño comparado con la duración de los símbolos [33].

La modulación OFDM es formada por diversas portadoras (1705 a 6817, todas igualmente espaciadas, por menos de 1 kHz a 4 Hz, dependiendo del ancho de banda del canal), cada una se modula de acuerdo a un esquema QPSK, 16-QAM, 64-QAM. El espaciamiento entre portadoras se selecciona de manera que éstas sean ortogonales sobre el período del símbolo. Los símbolos pueden ser recuperados sin interferencia aún con un grado de solapamiento espectral. Las señales portadoras en OFDM son generadas por una técnica de la IFFT dentro del modulador. El receptor usa una FFT en el proceso de demodulación.

Debido a su naturaleza de multiportadora, OFDM es útil para canales que presentan distorsión lineal, proporciona un grado de protección contra interferencia inter-símbolo causada por propagación multitrayectoria y puede lograr un alto nivel de inmunidad contra interferencia co-canal. Esta protección, sin embargo, puede ser mejorada usando el intervalo de guarda [34].

El ancho de banda de la señal OFDM puede ser ajustado para diferentes anchos de banda del canal. La aplicación típica es para un canal UHF de 8 MHz y es fácilmente modificada para canales de 7 y 6 MHz escalando todos los parámetros de acuerdo al cambio en el reloj del sistema.

Este tipo de modulación fue escogida por los estándares DVB-T e ISDB-T para transmisión de TDT y el proceso de modulación será descrito con más detalle en el capítulo 4.

3.3.3 Transmisión en Redes de Frecuencia Única. Una red de frecuencia única es aquella compuesta de múltiples transmisores que comparten un canal de transmisión. Esto se debe a que podrían existir sectores entre transmisores adyacentes en los cuales se transmiten idénticas señales y muchas de ellas podrían ser recibidas simultáneamente por receptores individuales. Los receptores perciben las múltiples transmisiones como una propagación multitrayectoria debido a que llevan el mismo contenido, pero se encuentran desfasadas en el tiempo y tienen magnitudes que dependen de la ubicación del receptor con respecto al transmisor. El receptor debe procesar estas múltiples transmisiones para obtener una sola señal que permita demodular el flujo de transporte con la menor cantidad de errores [35].

La principal característica de la operación de un sistema de TDT en la operación en Redes de Frecuencia Única (SFN) es lograr y mantener el mejor sincronismo posible entre las estaciones transmisoras, de modo que las señales provenientes de dos o más estaciones, puedan ser interpretadas como ecos de una sola transmisión.

La distribución de DTV en SFN es una característica muy importante al momento de seleccionar el estándar a implementar, en el sentido de que si un estándar tiene mejor robustez frente al efecto multitrayectoria, la tendrá también en la operación en redes de frecuencia única.

3.4 FACTORES DE PLANIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN

3.4.1 Planificación del Espectro. Para la inclusión de la TDT es muy importante planear la distribución y utilización de frecuencias libres o que aún no se han empleado para la radiodifusión de televisión digital, de esta manera se permitirá la cobertura a transmisores individuales, fortaleciendo los beneficios y se obtendrá un servicio completo de radiodifusión de televisión digital terrestre. Sin embargo, la planificación del espectro es un tema que requiere mucho estudio y existen entidades y problemas involucradas en esta situación por lo tanto es un punto que tomará bastante tiempo en realizarse [23]. La asignación de espectro para usos particulares está sujeta a políticas regionales y negociación de límites de frecuencia, como también a la regulación nacional.

Una de las consideraciones centrales para la evolución del sistema de radiodifusión de televisión digital terrestre es lo concerniente a conseguir las formas y maneras más sensibles de migrar de una fase inicial de televisión digital donde exista una base compartida con los sistemas actuales de televisión analógica a una fase final donde se dé un completo apagón a los sistemas de

televisión ya sea NTSC, PAL o SECAM. En esta última fase se espera que los servicios de televisión digital estén en su máximo potencial.

3.4.2 Consideraciones entre las tecnologías analógica y digital. El proceso de planeación de televisión digital terrestre ha sido diseñado para transmitir dos tipos de servicio, uno de ellos (cobertura en un área amplia) tiene el objetivo de asegurar que la recepción satisfactoria de muchos programas dentro de lo posible, sea llevada a cabo a través de un extenso territorio, para ello se deben utilizar numerosas estaciones de retransmisión de baja potencia, ubicadas especialmente en terrenos montañosos; el otro (mercado local) tiene como finalidad habilitar muchas compañías de radiodifusión como sea posible para competir entre ellas en el suministro de servicios dentro del área cubierta por un sola estación de transmisión de alta potencia ubicada cerca del centro de un área metropolitana, por lo tanto hay pocas estaciones retransmisoras de baja potencia.

Ambos tipos de servicios deben coexistir en la misma área, ya que algunos tipos de programas son de interés local, mientras que otros son apropiados para un área amplia. Sin embargo, con la cobertura de grandes áreas generalmente se tiene mucho menos espectro disponible para proporcionar servicios digitales.

- *Interferencias D/A.* Es necesario definir el nivel de degradación, que sea aceptable, de una interferencia co-canal y de una interferencia de canal adyacente para los servicios analógicos. Para implementación inicial de sistemas digitales en los canales analógicos vacantes existentes es posible permitir algún solapamiento de la señal digital en los canales analógicos adyacentes.
- *Interferencias D/D.* Dada la naturaleza de ruido del espectro digital transmitido, la susceptibilidad de sistemas digitales a la interferencia co-canal digital es casi idéntica a su susceptibilidad a ruido térmico, que es creciente así como se incrementan los niveles de modulación desde QPSK a niveles más altos como 16 y 64-QAM (por aproximadamente 7 dB y 13 dB respectivamente).
- *Interferencias A/D.* Las principales interferencias co-canal analógica a digital están centradas alrededor de las frecuencias de subportadoras de video, audio y color del sistema analógico. Este tipo de interferencia en principio puede ser muy perjudicial para la transmisión digital, sin embargo esquemas sofisticados de corrección de error pueden encargarse efectivamente de este tipo de interferencia. Al igual que en el caso de interferencia digital a digital, el desempeño final será dependiente de la selección del nivel de modulación, la capacidad de transmisión dedicada a la protección contra errores, así como también, en alguna extensión, a las características particulares del sistema de modulación, si es de una sola portadora o multiportadora.

3.4.3 Cobertura de la señal. En cuanto a los servicios digitales es necesario asegurar que un alto porcentaje de televidentes puedan recibir un servicio

satisfactorio. Por lo tanto deben ser definidos los límites de cobertura para un alto porcentaje de localizaciones, en términos de los niveles mínimos de señal necesarios para recepción satisfactoria y en protección contra interferencia. Por otra parte, la calidad completa del sistema digital es conservar fuera del límite de cobertura, y efectivamente a muchas localizaciones más allá de éste.

En principio los sistemas digitales pueden proporcionar una calidad más alta de recepción que los sistemas analógicos para las mismas condiciones de propagación, el ancho de banda del sistema y la potencia radiada efectiva. Alguna de esta calidad de recepción adicional potencial puede ser dada para proveer una capacidad de transmisión más alta en un ancho de banda dado. Esta capacidad puede ser usada para proporcionar estándares de alta definición.

La mejor utilización del espectro y las potencias más bajas radiadas son el resultado de valores de razón de protección y C/N (*Carrier to Noise*, portadora a ruido) los cuales son más bajos para sistemas analógicos.

3.4.4 Técnicas del Sistema Digital

▪ *Técnicas de una sola portadora.* Los factores para la planificación están afectados por las elecciones en cobertura, degradación moderada, disponibilidad de servicio, calidad de imagen, condiciones de recepción esperadas y efectos en servicios analógicos actuales. Adicionalmente, el servicio digital debe fijarse en el espectro existente asignado para radiodifusión de televisión.

La coexistencia con los servicios de televisión analógica se ve influenciada por las opciones de implementación en la población y densidad de uso del espectro: la cobertura en ambientes densos es probable que sea limitada en interferencia, la cobertura en ambientes menos densos se puede extender para emparejar los contornos protegidos por el servicio analógico existente.

▪ *Técnicas de multiportadora.* El enfoque tomado es modular los datos en un gran número de portadoras espaciadas estrechamente en frecuencia, lo que da un ancho de banda estrecho. El punto clave es que las portadoras están ortogonalmente espaciadas en frecuencia, así no hay interferencia mutua. Los beneficios ocurren cuando al usar este sistema en la presencia de interferencia y multitrayectoria, solo algunas de las portadoras serán afectadas en cualquier momento.

Con las técnicas de multiportadora se mejora el desempeño de la siguiente forma:

- Los datos pueden ser entrelazados en tiempo y frecuencia. En el receptor, el efecto de la pérdida de datos de una portadora puede ser compensado, como ráfagas de errores son interrumpidas por el proceso de desentrelazado.

- Redundancia en forma de codificación de canal, permitiendo corrección de errores que se presentan de portadoras que sufren interferencia o multitrayectoria desde la transmisión. Los sistemas que usan tal codificación son los sistemas OFDM codificados (Coded OFDM COFDM).
- El período de símbolo de los datos llevado en cada portadora puede ser incrementado para prevenir multitrayectoria que causa interferencia inter-símbolo. El tiempo adicional, conocido como el intervalo de guarda, no sólo previene interferencia inter-símbolo, también permite que la potencia de la señal retardada sea usada constructivamente.

El resultado es un sistema con un desempeño mejorado en presencia de interferencia y multitrayectoria.

Los beneficios clave ocurren cuando se usan sistemas COFDM para radiodifusión en áreas amplias (en los cuales el mismo servicio es radiodifundido desde muchos transmisores). Con sistemas convencionales, se previene interferencia con la operación de transmisores en diferentes frecuencias. Con COFDM, sin embargo, la recepción simultánea de señales de varios transmisores tiende a dar en el receptor propagación multitrayectoria con retardos. Los sistemas COFDM pueden ser diseñados para permitir ecos retardados relativamente largos, y así todos los transmisores en una red pueden ser operados en la misma frecuencia (red de una sola frecuencia, SFN). En planificación de sistemas SFN, la potencia en una señal retardada puede considerarse constituida de un componente constructivo e interferente. Las cantidades relativas de cada componente dependen del retardo de la señal.

3.4.5 Consideraciones para los factores de planificación.

- *Razones de Protección.* Para el ambiente digital/analógico, las razones de protección son dependientes de un número de factores que para ambos servicios pueden incluir esquemas de modulación, uso de corrección de error, sincronización, calidad de imagen y protección de interferencia. Para interferencia digital al servicio analógico, la interferencia digital se reacomoda como una señal de ruido y las razones de protección co-canal caen en el rango de 35 a 45 dB. Para el servicio digital, la interferencia puede resultar de cualquier servicio existente analógico o un servicio digital establecido recientemente. Para este caso, las razones de protección pueden estar en el rango de 5 dB (interferencia digital) a 20 dB (interferencia analógica). En el caso de interferencia analógica la razón de protección puede variar dependiendo del contenido de la imagen de la señal analógica. Otras razones de protección requeridas para la planificación incluyen las de canal adyacente y de imagen.

- *Sistema Receptor.* Los factores usados para establecer la fuerza del campo requerida para operación satisfactoria del receptor son: la figura de ruido en el receptor, la razón C/N del receptor, ganancia de la antena y pérdida en la línea de transmisión.

En la práctica, el desempeño de cualquier sistema de recepción puede ser mejorado por métodos simples como usar un amplificador de bajo ruido o una antena con ganancia elevada.

- *Polarización.* El uso de polarización ortogonal, horizontal y/o vertical de la señal radiada puede ser un beneficio para la reducción de interferencia mutua, especialmente en áreas densamente congestionadas.

- *Disponibilidad del servicio.* Esto hace referencia a la cobertura, se asume como necesaria una disponibilidad de ubicación y tiempo del 90%.

- *Recepción portátil en áreas encerradas.* La recepción portátil en lugares cerrados no es posible a lo largo de toda el área de cobertura derivada de la planificación con antenas externas. La recepción en lugares cerrados tiene una penalidad de pérdida en el orden de 20 a 30 dB debido a la baja ganancia y altura de la antena y a la penetración en edificios lo cual resulta en una notable reducción en el área de servicio. Una solución a este problema es aceptar la cobertura donde sea posible

- *Modulación y las diferencias en ambientes de planificación.* Los diferentes factores incluyen:

- Concentraciones de población esparcida o densa
- Cobertura de radiodifusión nacional o cobertura localizada
- Niveles diferentes de disponibilidad de canal
- Niveles diferentes de madurez en el desarrollo de televisión analógica
- Criterios de planificación de frecuencia de países y sus vecinos
- Requerimientos para recepción móvil, portátil o fija
- Variaciones en el terreno

3.4.6 Características de la Recepción. La señal de DTV es recibida mediante una antena aérea y enviada a un decodificador encargado de realizar la conversión D/A para que la señal pueda ser observada mediante un Televisor analógico convencional.

- *Características del receptor de video.* El televisor o set top box recibirá flujos de bits codificados, hechos de un conjunto de datos e instrucciones programadas, que se ejecutarán para regenerar la imagen y sonido original en el formato propio del receptor. Las principales funciones del receptor son:

- Detección de subtítulos y señales de código de tiempo
- Manejo de datos o servicios relacionados con gráficos
- La provisión de una interfaz con computador, cámara y registro magnético
- La implementación de un sistema de seguridad de acceso condicional.

El formato de pantalla es independiente de los formatos de transmisión. Los receptores de televisión no pueden mostrar diferentes formatos, éstos son construidos con un estándar de formato de pantalla propio

- *Características de las antenas.* La principal característica para tener en cuenta al seleccionar el tipo de antena para TDT es la potencia radiada efectiva promedio; para estaciones de DTV está diseñada para proporcionar cobertura con ruido limitado a una distancia igual al contorno de servicio de TV analógica. La potencia máxima permisible para nuevas estaciones de DTV en la banda UHF es 316 kW. El rango de potencias permisibles para la recepción de DTV se encuentra entre 50 kW y 1000 kW

Existen dos modos de recibir la señal de televisión digital dependiendo del tipo de antena que se implemente.

- *En interiores.* Generalmente más pequeñas y para colocar cerca del televisor, se deberá utilizar una antena convencional de UHF, y moverla buscando la mejor recepción, como lo haría cualquier usuario.

- *En exteriores.* Son relativamente más grandes y se utilizan para recepción colectiva. Para las mediciones en exteriores se empleará una antena fija directiva UHF comercial.

4. ESTÁNDARES DE TRANSMISIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE

4.1 ATSC (Advanced Television System Committee)

El estándar ATSC describe un sistema de televisión diseñado para transmitir en un canal de 6 MHz, audio y video de alta calidad y datos complementarios a una velocidad de 19,36 Mbps, haciendo uso de tecnologías complejas de compresión para maximizar el flujo de datos de información que pasa por el canal.

4.1.1 Antecedentes Generales. ATSC (Advanced Television System Committee) fue formado con el propósito de explorar la necesidad y coordinar el desarrollo de estándares técnicos, prácticas recomendadas y pautas para el usuario en sistemas de televisión avanzada. ATSC trabajó en conjunto con ACATS (Advisory Committee on Advanced Television Service, grupo seleccionado por FCC) en el desarrollo y definición del estándar de televisión digital para Estados Unidos. El estándar fue desarrollado por un consorcio de empresas denominado Grand Alliance, encargado de especificar los estándares bajo cinco áreas de interés:

- Video, incluyendo formato de la señal de entrada y codificación fuente
- Audio, incluyendo formato de la señal de entrada y codificación fuente
- Transporte, incluyendo múltiplex de datos y codificación de canal
- Transmisión RF, incluyendo subsistema de modulación
- Características del receptor

En septiembre de 1995 los miembros de ATSC aprobaron el estándar ATSC para televisión digital terrestre definido en el documento A/53 y fue ratificado por ACATS en noviembre del mismo año.

4.1.2 Características del Sistema. El sistema ATSC está basado en el modelo general para TDT estudiado en el capítulo anterior y su arquitectura se encuentra dividida en capas, compatibles con el modelo de interconexión de sistemas abiertos (Open System Interconnection OSI). El modelo de capas divide los diferentes formatos y normas utilizadas para la transmisión de la señal de DTV. En la figura 23 se muestra la arquitectura de capas del sistema ATSC [36], [37].

La capa de imagen proporciona los múltiples formatos de imágenes y velocidades de la trama en HDTV y SDTV. La capa de compresión especifica los formatos MPEG-2 para compresión de video y Dolby AC-3 para compresión de audio. La capa de transporte define el formato MPEG-2 para multiplexación y demultiplexación de las señales y finalmente la capa de transmisión se encarga de la transmisión de la señal mediante modulación 8-VSB.

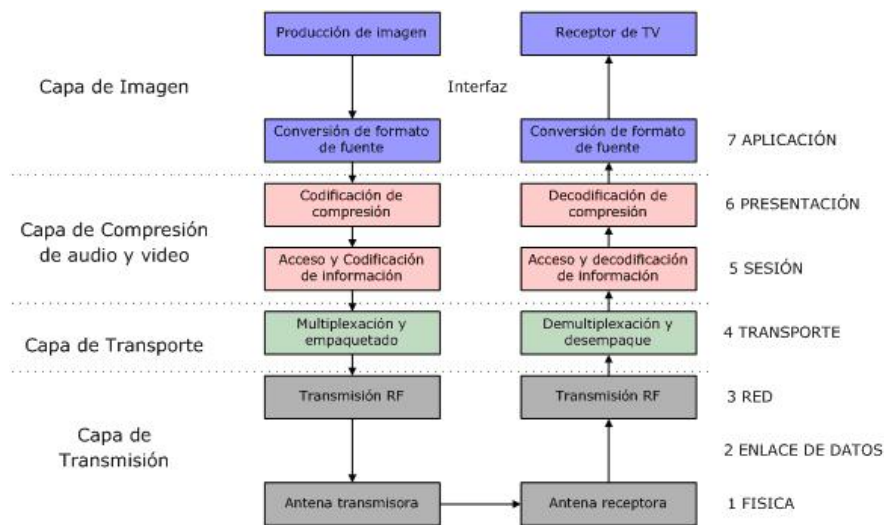


Figura 23. Arquitectura de capas OSI y del sistema ATSC

4.1.3 Sistema de Video. El diseño del sistema de video comprende dos capas OSI, el formato de la fuente de video y la codificación de compresión. La señal es digitalizada con una frecuencia de muestreo de 13,5 MHz para señales ATSC SDTV y una frecuencia de 75 MHz para señales ATSC HDTV [38].

- *Características de la Fuente.* El estándar ATSC soporta un rango de programas originados en diferentes formatos de exploración y pueden representarse en dos niveles de formato de programa: HDTV y SDTV. Las variaciones de formato incluyen los números de píxel y línea activos, y frecuencias de cuadros que afectan la resolución de la imagen (Ver Tabla 11) facilitando la conversión inter-formato.

Tabla 11. Frecuencias de cuadros de ATSC

Frecuencia de cuadros	de	Características
60 Hz		Mejora la calidad de imagen Permite interoperabilidad con sistemas de computadores
59,94 Hz 29,97 Hz		Simplifican conexión de redes con NTSC originando materiales y transmisiones de emisión simultánea
24 23,98		Permiten cine. Originan material que es transmitido en modo de película.

Hay 18 formatos de transmisión de video permitidos por el estándar ATSC. Si se tienen en cuenta los formatos de exploración de NTSC, se tienen 36 opciones.

Esta amplia variedad de formatos permitirá a los productores de programas, desarrolladores de aplicaciones, y radiodifusores seleccionar el mejor para la aplicación deseada.

El formato de 1920 x 1080 está especificado sólo con una versión entrelazada para reflejar las limitaciones de la actual tecnología. La arquitectura del codificador puede soportar una frecuencia de cuadros de 60 Hz cuando las tecnologías y costos sean apropiados. En la tabla 12 se muestran las velocidades de transmisión de bits originales y máximas comprimidas para los formatos de imagen ATSC.

Tabla 12. Formatos de imagen ATSC

Formato	Formatos SDTV		Formatos HDTV	
	VGA 480	CCIR-601	720	1080
Formatos de imagen activa (píxeles x línea)	640 x 480	720 x 483	1280 x 720	1920 x 1080
Frecuencia de imágenes (fps)	60P, 30P 30I, 24P	60P, 30P 30I, 24P	60P, 30P 24P	30P 30I, 24P
Razón de aspecto de la imagen	4:3	4:3 16:9	16:9	16:9
Razón de aspecto de píxel	1	0.9 1.2	1	1
Máxima velocidad de bits a 30 fps (Mbps)	147	162	442	995
Máximas razones de compresión	7,8	8,6	23	53

- *Compresión de Video.* La compresión de datos de video se usa para reducir la alta velocidad original de transmisión de bits a una velocidad de datos nominal de aproximadamente 18,9 Mbps. Los parámetros permisibles están limitados por los especificados por el Perfil Principal de Nivel Principal (Main Profile @ High Level). En el anexo A del documento A/53 [36] se encuentran mayores detalles.

4.1.4 Sistema de Audio. Las características del sistema de audio están definidas en el documento A/52 del estándar ATSC [39]. El sistema de compresión de audio digital es un subconjunto del sistema AC-3, desarrollado por laboratorios Dolby. Se pueden codificar cinco canales de audio de ancho de banda completo (3 Hz a 20 kHz), canal izquierdo, central, derecho, envolvente izquierdo y derecho, y un canal mejorado de baja frecuencia y ancho de banda reducida, Low frequency enhancement LFE (3 Hz a 120 Hz), en un flujo de datos de 384 kbps. Este último canal lleva alrededor de un décimo del ancho de banda de otros canales. Por esto, el sistema AC-3 es conocido como 5.1 o 5+1 canales.

El sistema de audio también proporciona características para el usuario como control de fluctuaciones en el nivel de audio entre programas y ajuste del rango dinámico del audio original al ambiente de reproducción.

En la tabla 13 aparecen los tipos de servicio de audio contenidos en el flujo elemental AC-3.

Tabla 13. Tipos de servicio de audio contenido en el flujo elemental AC-3

Nombre ATSC	Tipo de servicio	Número de canales	Velocidades de bits	Característica
Principal Completo (CM)	Audio principal	1 a 5 + 1	64 a 384	Modo normal de operación. Completo con diálogo, efectos y música
Música y efectos (ME)	Audio principal	1 a 5 + 1	64 a 384	No incluye diálogo
Discapacidad visual (VI)	Asociado	1	128	
Discapacidad auditiva (HI)	Asociado	1	128	
Diálogo (D)	Asociado	1	128	Para ser usado en el servicio de audio principal ME
Comentario (C)	Asociado	1	128	Contenido de programa opcional
Emergencia (E)	Asociado	1	128	Para anuncios de mensajes urgentes
Narración (V)				Similar al servicio E

Luego de la digitalización de los seis canales de audio analógicos, las señales digitales son enviadas al codificador AC-3.

4.1.5 Sistema de múltiplex y transporte. ATSC emplea un empaquetamiento de flujo de transporte de longitud fija basado en un subconjunto de la especificación del sistema de transporte MPEG-2. Los flujos elementales de audio, video y datos auxiliares son formados en paquetes de datos, cada uno de ellos contiene sólo un tipo de datos y puede ser identificado por una cabecera ID de paquete. Este empaquetamiento es dependiente de la aplicación y resulta en paquetes de flujo elemental de longitud variable. Los flujos elementales empaquetados PESs (Packetized elementary streams) de audio, video y datos auxiliares son multiplexados para conformar el flujo de programa. La mezcla de estos distintos

paquetes puede ser asignada dinámicamente para satisfacer el ancho de banda disponible del canal.

La capa de transporte proporciona la multiplexación y sincronización de servicio (audio, video, datos auxiliares) que conforman un programa. La sintaxis de transporte es flexible, lo suficiente como para permitir que un programa sea compuesto de un gran número de flujos elementales. Cada cabecera del paquete de transporte contiene un byte sync y varias banderas para contenido de flujo de datos e identificación de programa, como se muestra en la figura 24. Una adaptación opcional de cabecera de longitud variable es incluida en la carga útil de datos y contiene información adicional tal como sincronización de tiempo y medios, bandera de punto de empalme de flujo de bits, etc. [40].

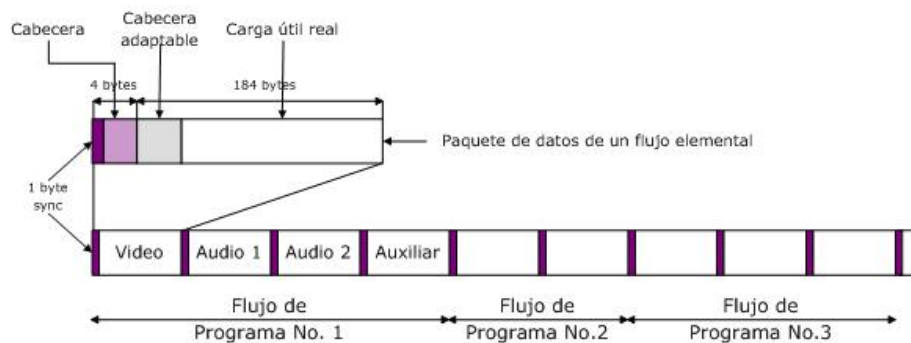


Figura 24. Multiplexación de flujos elementales en un flujo de programa y flujos de programa en un flujo de transporte.

La salida del sistema de transporte es un flujo de transporte continuo MPEG-2 a una velocidad constante de 19.39 Mbps, la cual es ideada para la aplicación principal de una radiodifusión terrestre 8-VSB.

4.1.6 Características del Sistema de Transmisión. El sistema de transmisión consiste en la codificación y modulación del canal. El codificador añade información adicional al flujo de bits para que el receptor reconstruya los datos de la señal recibida, sin embargo debido a las alteraciones durante la transmisión no es posible recuperarla de manera exacta. La modulación (capa física) usa información del flujo de bits para modular una portadora para la señal transmitida.

- *Codificación del canal.* La figura 25 muestra un diagrama de bloques del servicio principal de transmisión.

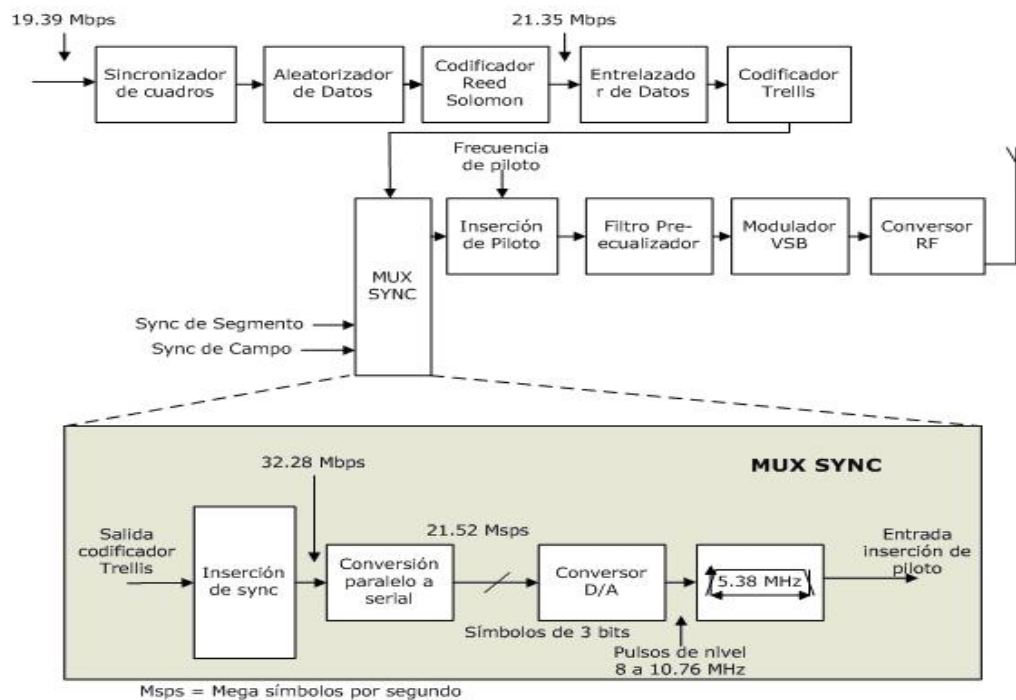


Figura 25. Diagrama de bloques del Servicio Principal

Los datos de transporte de entrada van a un *sincronizador de tramas o cuadros* que ubica los bytes de sincronismo de la capa de transporte y acomoda el flujo de datos serial en bytes. El sistema de transmisión funciona con un flujo de datos serial a 19.39 Mbps compuesto de paquetes de datos compatibles con MPEG de 188 bytes. Estos 188 bytes de datos representan una velocidad de transmisión de datos de la carga útil de $19.39 \times 187/188 = 19.28$ Mbps.

Un *aleatorizador de datos* asegura que valores de datos constantes no existan en el flujo de bits serial interrumpiendo la uniformidad de valor de los datos. Tal secuencia de datos generaría un espectro no uniforme que podría producir efectos de interferencia en otros servicios tales como transmisores existentes NTSC. Los datos aleatorios también mejoran el desempeño del circuito de recuperación del receptor.

A los 187 bytes de datos de cada paquete se añaden bytes de *verificación Reed Solomon* (20 bytes de paridad R-S) para corrección avanzada de errores (FEC), lo cual proporciona una corrección eficiente de errores de transmisión. El byte sync es excluido en este proceso.

Un *entrelazador de datos* dispersa los bytes del mismo bloque RS sobre el tiempo y más adelante proporciona protección contra errores desviando ráfagas de errores.

Un proceso de *codificación trellis* es usado para incrementar la redundancia de la señal de entrada doblando los niveles de datos. Cada bloque de datos de 208 bytes es convertido en 832 palabras de dos bits codificadas trellis (codificador trellis de estado 4) y mapeadas en una constelación de una dimensión, definida como VSB de nivel 8.

Un *multiplexor* recibe los 832 símbolos de tres bits del codificador trellis e inserta las señales *sync de segmento de datos* (cuatro símbolos por segmento) y *sync de campo de datos* (un segmento por campo). Esto ayuda al receptor en la adquisición de paquetes y reloj de símbolo y fijación de fase durante condiciones de recepción desfavorables.

Un conversor paralelo a serial permite procesar 3 bits de los datos a la vez, a una velocidad de símbolo de 10,76 MHz, y convertidos D/A a pulsos de nivel 8. Se usa un filtro de fase lineal para minimizar interferencia inter-símbolo. Una pequeña portadora piloto (-11,3 dB por debajo de la potencia promedio de la señal de datos) es añadida a la señal VSB en la frecuencia de portadora suprimida (310 kHz desde el borde inferior de la banda). Esto facilita la adquisición de la señal e incrementa el rango de llegada en el receptor.

- **Modulación.** El sistema VSB ofrece dos métodos de modulación 8-VSB (para radiodifusión terrestre) y 16-VSB (para aplicaciones de cable). El modo 8-VSB se define como un conjunto de elementos necesarios (Modo principal) y varias combinaciones de elementos opcionales (Modo Mejorado o E8-VSB).

El modulador VSB filtra la señal VSB FI (frecuencia intermedia) a una frecuencia nominal de 46,69 MHz (44 MHz + 10,76 MHz). El conversor RF pasa el espectro de la señal de datos de frecuencia intermedia al canal deseado. En la figura 26 se muestra el segmento de datos 8-VSB.

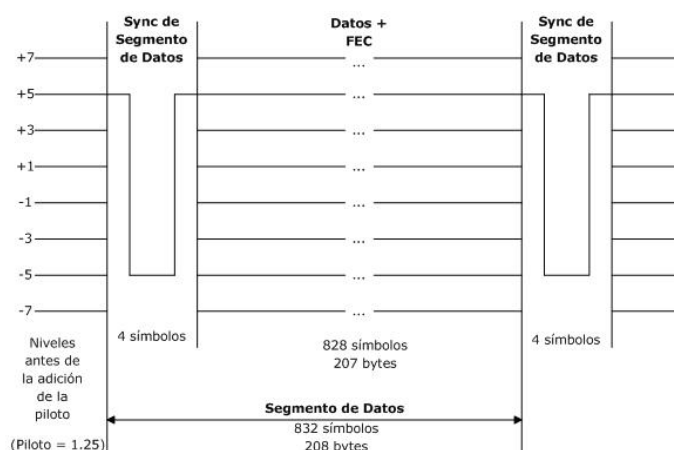


Figura 26. Segmento de datos 8-VSB

Los símbolos de nivel 8 combinados con la señal de sincronismo binaria del segmento de datos y las de sincronismo del campo de datos serán usados para modulación con portadora suprimida. Antes de la transmisión, gran parte de la banda lateral inferior es removida. El espectro de transmisión nominal está mostrado en la figura 27.

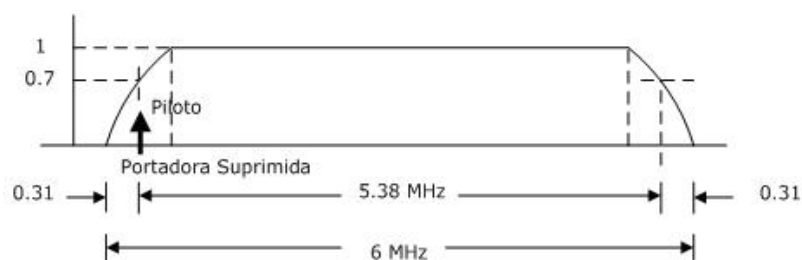


Figura 27. Ancho de banda del canal VSB (nominal)

Algunos parámetros del modo de transmisión VSB se resumen en la tabla 6. Para más información sobre el servicio principal, consultar la documentación correspondiente del estándar ATSC (ATSC Digital Television Standard Part 2 – RF/Transmission System Characteristics (A/53, Part 2:2007) Advanced Television) [41].

Tabla 14. Parámetros para modos de transmisión VSB

Parámetro	Modo Terrestre	Modo de Alta velocidad de datos
Ancho de banda del canal	6 MHz	6 MHz
Ancho de banda de guarda	11,5 %	11,5 %
Velocidad de símbolo	10,76 Msímbolos/s	10,76 Msímbolos/s
Bits por símbolo	3	4
FEC Trellis	Velocidad 2/3	Ninguna
FEC Reed-Solomon	T = 10(207, 187)	T = 10(207, 187)
Longitud de segmento	832 símbolos	832 símbolos
Sync de segmento	4 símbolos/segmento	4 símbolos/segmento
Sync de cuadro	1 por 313 segmentos	1 por 313 segmentos
Velocidad de datos de carga útil	19,39 Mbps	38,78 Mbps
Rechazo co-canal analógico	Filtro de rechazo analógico en el receptor	N/A
Contribución de potencia de piloto	0,3 dB	0,3 dB
Umbral C/N	~ 14,9 dB	~ 28,3 dB

4.1.7 Operación en redes de frecuencia única. La operación en Redes De Frecuencia Única para el estándar ATSC se especifica en el documento A/110 del estándar ATSC [42].

▪ *Múltiples transmisores compartiendo un solo canal.* Hay dos técnicas básicas para permitir que las señales que llegan de múltiples transmisores a los receptores, sean tratadas como ecos unas de otras:

1. Los transmisores pueden repetir señales recibidas desde otros transmisores, garantizando que están transmitiendo las mismas señales (aunque con algún retardo)
2. Los datos pueden ser llevados en paralelo a cada uno de los transmisores, con ciertos recursos para asegurar que los símbolos emitidos sean los mismos.

▪ *Requisitos del receptor.* La implementación de SFNs es dependiente de la capacidad de los receptores para extraer datos de las señales recibidas con niveles significativos de ecos a duraciones ampliamente espaciadas. Esta capacidad incluye el manejo de ecos importantes, o “pre-fantasmas”, que resultan de señales que llegan al receptor desde transmisores más alejados o que tienen tiempos de emisión retardados relativos a un transmisor más cercano. La ventana de temporización de ecos o “la extensión del retardo” (DS ‘delay spread’) que puede ser manejada parcialmente por receptores, determina cuán apartados pueden ser puestos los transmisores en la SFN.

▪ *Requisitos del transmisor.*

- Deben emitir los mismos símbolos de salida para las mismas entradas de datos. Cualquier divergencia de identidad de los símbolos de salida entre transmisores resultará en receptores que no estén disponibles para tratar con las señales como ecos unas de otras.
- Deben transmitir en la misma frecuencia. Cualquier diferencia en frecuencia causará que los ecos aparentes en la señal tengan las características de un cambio Doppler.

▪ *Formas de arquitectura de transmisión.*

- Cubrimiento de un área grande con el uso de una torre alta con un transmisor de potencia, este es el esquema clásico.
- Cubrimiento de áreas más pequeñas con el uso de múltiples torres más pequeñas con transmisores de potencia más baja. Esta es la red de frecuencia única. Aunque técnicamente no es el mismo sistema de comunicaciones celular por una variedad de razones, las áreas cubiertas por transmisores en

este sistema, a menudo son llamadas “celdas”. Las SFNs pueden ser diseñadas usando ya sea un poco de celdas cubriendo áreas relativamente grandes (esquema de “celda grande”) o muchas celdas cubriendo áreas relativamente pequeñas (esquema de “célula pequeña”).

4.1.8 Requerimientos para sincronización

- *Sincronización de Frecuencia.* Si las señales que llegan al receptor desde múltiples transmisores tienden a ser tratadas como ecos unas de otras, las frecuencias de esos transmisores deben ser cercanas entre sí lo suficiente para que el receptor no sugiera un efecto Doppler aparente entre las señales. Esto requiere que las frecuencias de salida de los transmisores sean controladas y mantenidas ajustadamente una con respecto a la otra.
- *Sincronización de Cuadro de Datos.* Los aleatorizadores de datos, codificadores con corrección de error Reed Solomon, entrelazadores de byte, y entrelazadores de bit de moduladores 8T-VSB pueden ser sincronizados por identificación apropiada de un punto de inicio para el Campo de Datos. Sin embargo debe sincronizarse un elemento más, el segmento de Sincronización de Campo de Datos (DFS) que es insertado por el modulador.
- *Sincronización pre-codificación/codificación Trellis.* El pre-codificador y codificador trellis efectúan procesos estocásticos, si tienden a estar sincronizados en múltiples transmisores es necesario desarrollar una condición estado para que las memorias de pre-codificador y codificador trellis sean aplicadas simultáneamente a un período en el flujo de datos por todos los transmisores en una red.

4.1.9 Características de Recepción. La FCC ha elaborado una recomendación definiendo que todos los receptores de televisión estén capacitados para decodificar las señales de audio, video y auxiliares especificadas en los documentos del estándar ATSC, sin importar cómo se exhiben o se radiodifunden las señales. La funcionalidad de servicios múltiples de recepción podría ser implementada con cualquiera de los receptores o set top boxes para convertir ATSC digital a NTSC analógica [43].

En la figura 28 se muestra un diagrama conceptual de un receptor ATSC.

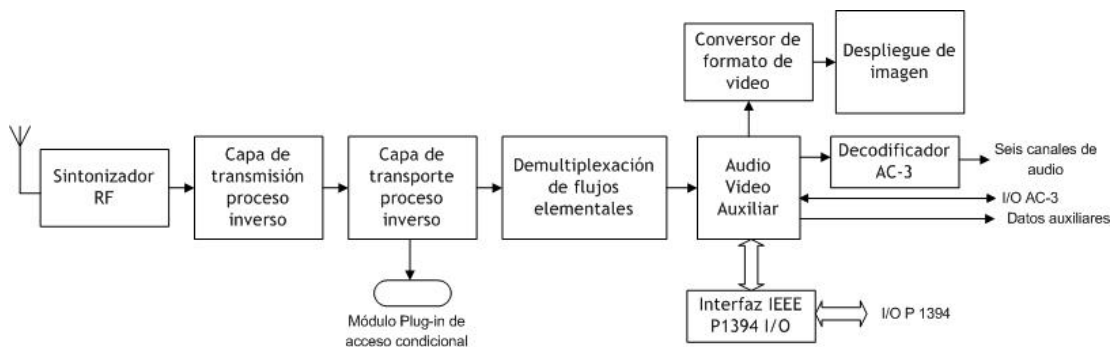


Figura 28. Diagrama de bloques de un receptor ATSC

- *Receptor de Video.* Una consideración importante es tener en cuenta el tipo y tamaño de la pantalla usada para HDTV. Un formato de pantalla SDTV tiene un tamaño de 67,5 cm (27 in) de diagonal y una altura de imagen de 45 cm aproximadamente (18 in). La distancia de visión normal es de 6 veces la altura de la imagen, para este caso es de 270 cm (9 pies = 108 in), a esta distancia las líneas son apenas visibles y por lo tanto la resolución analógica es percibida cómodamente por el televidente.

Para percibir en detalle imágenes HDTV con 1080 líneas activas por cuadro, y asumiendo una pantalla con formato 16:9 con altura de imagen de 45 cm, el televidente tendría que sentarse a 90 cm, otra forma es duplicar el tamaño de la pantalla, resultado en una altura de pantalla de 90 cm. Sin embargo, no se han producido pantallas CRT que reúnan estos requisitos de volumen a un precio y peso cómodos o un tamaño aceptable. Además las tecnologías de retro-proyección ofrecen brillo y ángulo de visión de pantalla limitados. Tecnologías más recientes, como pantallas planas no reúnen los requisitos de resolución vertical o tamaño y son muy costosos. Usar pantallas más pequeñas resulta en una pérdida de detalle de imagen HDTV y se perderían todas las ventajas de la alta definición.

- *Características del receptor de audio.* El estándar AC-3 puede proporcionar ocho niveles de configuraciones de decodificación de audio, desde mono, estéreo, hasta sonido envolvente multicanal con seis canales discretos.

4.1.10 Recepción para terminales móviles. En abril de 2007, ATSC comenzó el desarrollo de un estándar para servicios móviles y portátiles, compatible con los requerimientos del sistema de transmisión ATSC. El estándar denominado ATSC-M/H se encuentra en desarrollo.

4.2 DVB-T (Digital Video Broadcasting, Terrestrial)

DVB-T es un estándar técnico desarrollado por el Proyecto DVB que especifica la estructura de la imagen, codificación del canal y modulación del sistema de

radiodifusión de televisión digital terrestre. La primera versión del estándar fue publicada en marzo de 1997 y desde su inicio ha sido ampliamente adoptado en el mundo, con más de 40 millones de receptores desarrollados en más de 30 países. Es un sistema flexible que permite entregar un amplio rango de servicios, desde HDTV hasta múltiples canales SDTV, recepción fija, portátil y móvil. DVB-T usa modulación OFDM (orthogonal frequency division multiplex) y tiene las siguientes características:

- Tres opciones de modulación (QPSK, 16-QAM, 64-QAM)
- Cinco tasas diferentes de FEC (*forward error correction*)
- Cuatro intervalos de guarda
- Elección de portadoras de 2k u 8k
- Puede operar en canales con anchos de banda de 6, 7 u 8 MHz (para video con 52 o 60 Hz)

El sistema fue diseñado para transmitir información digital con tasas de 4.98 a 31,67 Mbps. Tiene muchas similitudes con la capa de transporte de ATSC, ya que también utiliza la norma MPEG-2 para el servicio de multiplex y transporte, pero difiere significativamente en el tipo de modulación utilizada.

El estándar DVB-T forma parte de toda una familia de estándares de la industria europea para la transmisión de televisión digital según sus diversas plataformas: cable (DVB-C), satelital (DVB-S), terrestre (DVB-T) y portátil (DVB-H). Cada uno de ellos define los procesos de codificación tanto de la fuente como del canal y modulación, según el medio de transmisión en que se distribuye la señal. Para la codificación de la fuente, en todos los estándares se utiliza una extensión de la norma MPEG-2.

4.2.1 Antecedentes Generales. El proyecto DVB fue fundado en 1993 y desde finales de 2005 está conformado por alrededor de 270 organizaciones de 32 países y los estándares propuestos han sido aceptados en Europa y en muchos países del mundo. Las especificaciones DVB establecen normas en los siguientes aspectos:

- Provisión de servicios interactivos mediante canales de retorno sobre varios medios (DECT¹², GSM¹³, PSTN/ISDN¹⁴, satelital, etc.) y protocolos (IP, NPI).
- Acceso condicional a contenidos pagados y protección de copia.

¹² DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications), o Telecomunicaciones Inalámbricas Mejoradas Digitalmente.

¹³ GSM (Global System for Mobile communications), Sistema Global para las comunicaciones Móviles.

¹⁴ PSTN/ISDN (Public Switched Telephone Network/Integrated Services Digital Network) Red telefónica pública conmutada/Red Digital de Servicios Integrados

- Formato e interfaz para transferir señales DVB hacia las localidades de distribución mediante redes de datos tradicionales.
- Transmisión de señales DVB-T mediante red de frecuencia única.
- Utilización de DVB para distribución de datos genéricos, no sólo audio y video, y posibilitando formatos como MPEG-4.

DVB-T contempla la transmisión de televisión digital a través de redes de distribución terrestres utilizando los canales VHF y UHF. Está definida en el documento ETSI EN 300 744 titulado *Digital Video Broadcasting (DVB), Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television* [44].

4.2.2 Características del Sistema. El sistema general está basado en el modelo para la transmisión de TDT y se puede observar en la figura 29. Las características de cada una de las etapas del sistema serán descritos más adelante.

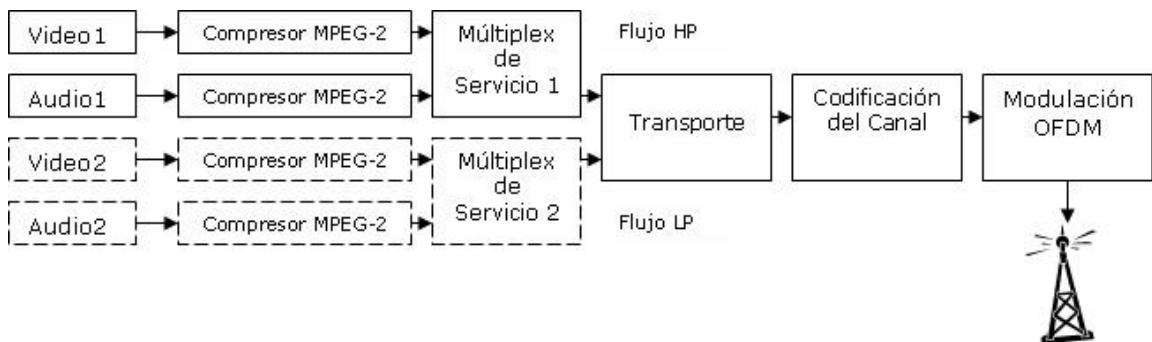


Figura 29. Diagrama funcional del estándar DVB-T

Una característica relevante del sistema DVB y en la cual difiere del sistema ATSC es que utiliza una modulación jerárquica transmitiendo dos flujos de transporte, uno de alta prioridad (HP) y otro de baja prioridad (LP) en una sola transmisión digital.

4.2.3 Sistema de Video. La señal de video emplea el formato 4:2:2 para el muestreo de las componentes de Luminancia (Y) y diferencia de color (C_R y C_B) y utiliza cuantificación de 8 bits.

- *Características de la fuente.* El estándar DVB-T soporta varios formatos de video (SDTV o HDTV) y tasas de cuadros. Las normas para codificación de video y audio para están definidas en el documento ETSI TR 101 154 [45] que define la codificación para video y audio para las normas DVB. La cláusula para el video esta basada en la norma ISO/IEC 13818-2 [46], algunos de los parámetros y campos no son usados en la norma DVB-T y está dividida en cuatro sub-cláusulas, las cuales difieren en la característica del formato y frecuencia de trabajo del

receptor. Las características de las cuatro sub-cláusulas se pueden observar en la tabla 15 y las diferentes resoluciones de pantalla se muestran en la tabla 16.

Tabla 15. Características del video DVB

Tipo	25 Hz SDTV IRDs and Bit streams	25 Hz HDTV IRDs and Bit streams	30 Hz SDTV IRDs and Bit streams	30 Hz HDTV IRDs and Bit streams
Perfiles y Niveles	La codificación utiliza Perfil Principal y Nivel Principal	La codificación utiliza Perfil Principal y Nivel Principal	La codificación utiliza Perfil Principal y Nivel Principal	La codificación utiliza Perfil Principal y Nivel Alto
Tasa de cuadros	Utiliza 25 Hz con formato entrelazado	25 o 50 Hz La fuente para 50 Hz debe ser progresivo y para 25Hz puede ser progresivo o entrelazado	Utiliza las frecuencias de 23.98, 24, 29.97 o 30 Hz, con formato progresivo	El formato de video fuente para 23,98; 24; 69,94 y 60 Hz debe ser progresivo. El formato para video fuente de 29,97 y 30 Hz puede ser entrelazado o progresivo.
Razón de aspecto	4:3 16:9	16:9	4:3 16:9	16:9

Tabla 16. Resoluciones de Video para DVB-T

Razón de aspecto	Píxeles por línea	Líneas Verticales	Frecuencia de Tramas
16:9	1920	1080	50P (HDTV)
16:9, 4:3	1920; 1440	1080	25I, 25P (HDTV)
16:9, 4:3	1280	720	25P, 50P (HDTV)
16:9, 4:3	1920; 1440	1080	60I, 30P, 24P (SDTV)
16:9, 4:3	1280; 960	720	60P, 30P, 24P (SDTV)
16:9, 4:3	720; 704; 544; 480; 352	576	25I, 25P (SDTV)
16:9, 4:3	720; 640; 544; 480; 352	480	60P, 60I, 30P, 24P (SDTV)
16:9, 4:3	352	288	25P (SDTV)
16:9, 4:3	352	240	24P, 30P (SDTV)

- *Compresión de Video.* El estándar DVB-T utiliza MPEG-2 para reducir la alta velocidad original de transmisión de bits a una velocidad de datos nominal de aproximadamente 18,9 Mbps. Los parámetros permisibles están limitados por las especificaciones del Perfil Principal de Nivel Principal (Main Profile @ Main Level) y del Perfil Principal de Alto Nivel (Main Profile @ High Level) para señales HDTV en un decodificador de 30 Hz.

4.2.4 Sistema de Audio. Las características del sistema de audio para el estándar DVB-T están definidas en el documento ETSI TR 101 154 [45]. El sistema de compresión de audio digital utiliza la capa 2 de la norma MPEG-2. Esta norma codifica el audio para los diferentes modos: estéreo (dos canales) o multicanal (5.1 canales) en un flujo de datos de hasta 384 kbps. La tasa de muestreo de los servicios principales puede ser de 32; 44,1 o 48 kHz y de 16k 22,05; 24; 32; 44,1 o 48 kHz para servicios secundarios.

El sistema de audio multicanal de DVB proporciona aplicaciones para sistemas audiovisuales incluyendo videoconferencia, servicios multimedia, cinemas electrónicos y canales multilingües.

La unidad de presentación para el audio es una “trama de audio AES/EBU” y se requieren de 16 a 24 bits por muestra para proveer el rango dinámico y la relación señal a ruido deseada. Esta trama es la entrada al codificador de audio MPEG-2 que se encarga de reducir el flujo de bits.

4.2.5 Sistema de múltiplex y transporte. DVB utiliza para el servicio de múltiplex y transporte la estructura de Flujo de Transporte, “*Transport Stream*” (TS), de MPEG-2 complementada con Información de Servicio, “*Service Information*” (SI), especificada en el documento ETS 300 468 [47].

Los paquetes de transporte TS se forman a partir de los PES correspondientes a cada flujo elemental de video, audio y datos auxiliares. El TS además de incorporar los paquetes asociados a los flujos elementales de la señal, brinda información del servicio y proporcionan paquetes de transporte nulos para absorber reservas eventuales de capacidad del múltiplex [29]. La formación del múltiplex de transporte MPEG-2 se observa en la figura 30.

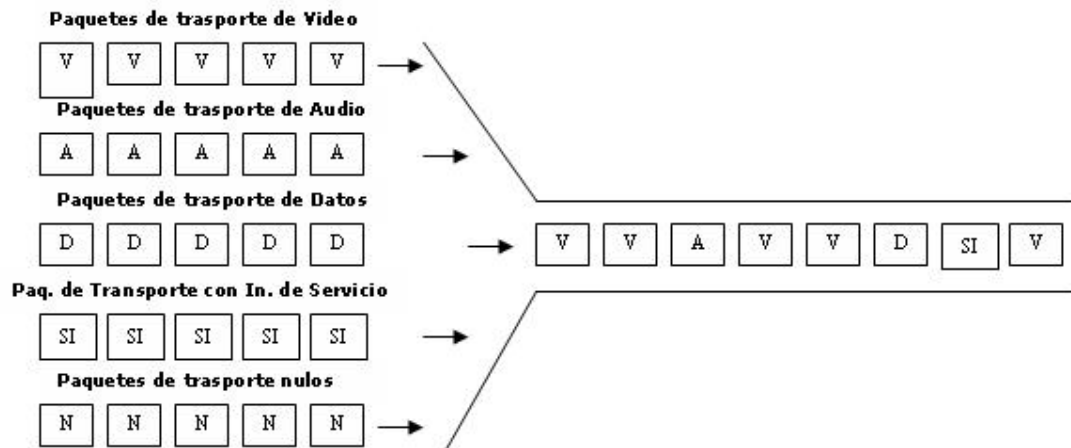


Figura 30. Formación del TS

En los sistemas DVB para la información de servicio (SI) se insertan 4 tipos de tablas o cuadros obligatorios dentro del TS y cuatro tipos de tablas o cuadros opcionales que se describen en la tabla 17.

Tabla 17. Tipos de Tablas para la Información del Servicio de DVB

Obligatorias	Opcionales
Tabla de Información de Red (NIT)	Tabla de Asociación de Grupo (BAT)
Tabla de Descripción de Servicio (SDT)	Tabla de Estado de Funcionamiento (RST)
Tabla de Información de Evento (EIT)	Tabla de duración de la acción (TOT)
Tabla de tiempo y fecha (TDT)	Tablas de Relleno (ST)

La salida del sistema de transporte es un flujo de transporte MPEG-2 cuya velocidad puede variar de 4,98 a 31,67 Mbps para ser modulada mediante OFDM.

4.2.6 Características del sistema de transmisión. Para la transmisión de la señal de DTV, DVB-T utiliza la modulación OFDM, por transmisiones jerárquicas de dos flujos: alta prioridad "HP" y baja prioridad "LP" [48], [33]. Las características principales de estos flujos se pueden observar en la tabla 18.

Tabla 18. Características de los flujos jerárquicos para DVB-T

Flujo	Alta Prioridad (HP)	Baja prioridad (LP)
Velocidad	Baja	Mayor
Calidad de imagen	Menor	Mayor
Modulación	QPSK	16-QAM

Relación S/N	Menor	Mayor
Observación	Esquema mayor robusto frente al ruido.	Esquema más exigente en cuanto a la relación señal a ruido

El proceso de codificación de canal y modulación para el estándar DVB-T se visualiza en la figura 31.

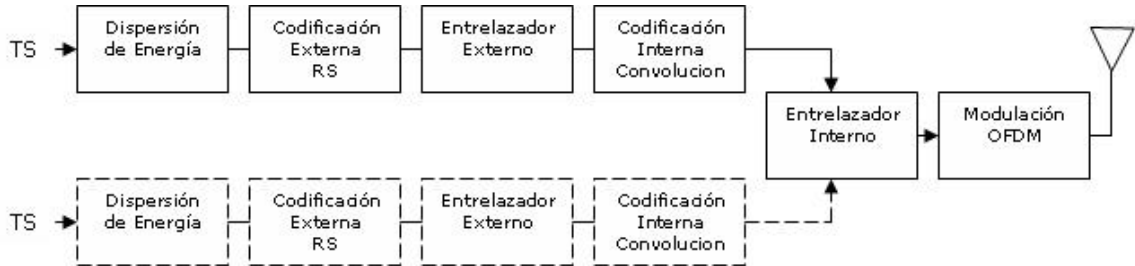


Figura 31. Esquema de codificación de canal y modulación para DVB-T

- *Codificación de canal.* Los paquetes de transporte MPEG-2 de 188 bytes entran a un multiplexor de *dispersión de energía*, donde la señal es cuasi-aleatoria, de forma que se evitan largas series de ceros o de unos. Las tramas entran a un proceso denominado “adaptación del flujo de transporte” para proporcionar una señal de inicialización en el decodificador del receptor que permita identificar cada conjunto de 8 paquetes de transporte afectados por la aleatorización, el byte de sincronización del primer paquete de cada conjunto se invierte.

La “codificación del canal” permite corrección de errores (FEC) en el receptor, introduciendo cierta redundancia en la estructura de los paquetes de transporte. Se emplea codificación “externa” y codificación “interna” [33].

El tipo de codificación externa utilizada es Reed-Solomon, se agregan 16 bytes de paridad a los 188 iniciales, resultando un total de 204 bytes. Este código es capaz de corregir hasta 8 bytes erróneos ocurridos en cada grupo de 204.



Figura 32. Estructura del paquete con codificación RS

El *entrelazador externo* permite preservar la periodicidad de los 204 bytes de los paquetes protegidos.

Después de la codificación y entrelazado externo, los datos son sometidos a un nuevo proceso de codificación y entrelazado “internos”. La *codificación interna* es del tipo convolucional y con ella, se obtienen diferentes modos de transmisión dependiendo del esquema que se elija:

- Relación 1/2: 1xM datos de entrada se convierten en 2xM datos de salida
- Relación 2/3: 2xM datos de entrada se convierten en 3xM datos de salida.
- Puede operar también en tasas de 3/4, 5/6 y 7/8, otorgando flexibilidad entre la tasa de datos y el nivel de protección que se desea. El valor más adecuado, práctico, dependerá del área de cobertura para una potencia dada de emisión.

El *entrelazado interno* se compone de un primer proceso de entrelazado relativo al bit seguido de un entrelazado de símbolos orientado al tamaño de los símbolos que es función de la constelación. Así, los símbolos tienen 2 bits en QPSK, 4 en 16-QAM y finalmente 6 en 64-QAM.

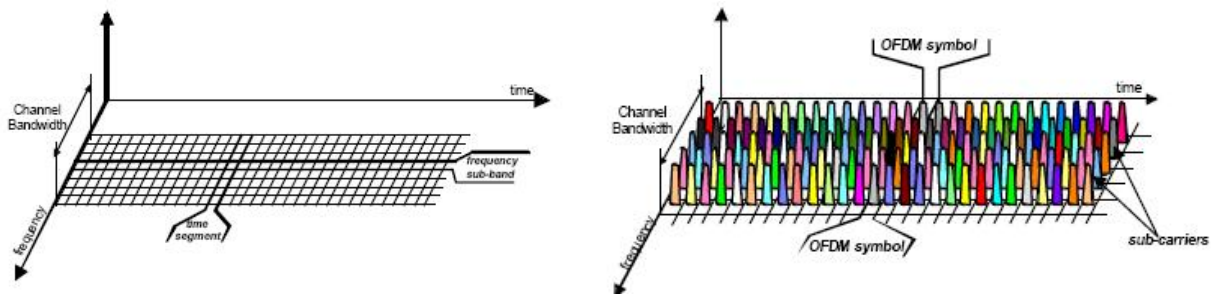
En transmisiones no jerárquicas solo existe un flujo de bits de transporte y el entrelazado de bits se hace con un tamaño de bloque de 126 bits. Luego los símbolos resultantes son entrelazados entre ellos para dispersar su ubicación en las sub-portadoras del modulador OFDM.

Para transmisiones jerárquicas, el entrelazado opera de una forma similar, excepto que la formación de símbolos se realiza por grupos de 2 bits para el flujo HP y 2 bits para el flujo LP (16-QAM jerárquico), o 2 bits para el flujo HP y 4 para el flujo LP (64-QAM jerárquico).

- *Modulación OFDM*. DVB-T utiliza modulación OFDM con portadoras de 8K (8192) o 2K (2048) y una duración de símbolo de 896 y 224 μ s respectivamente. El número efectivo de portadoras que se utilizan es de 6818 para 8K y 1706 para 2K. La utilidad de las portadoras restantes es:

- *Portadoras piloto continuas*. Sincronización del receptor en frecuencia y en fase
- *Portadoras piloto dispersas*. Regeneración del canal en amplitud y fase del receptor
- *Portadoras (transmission parameter signalling)*. Con información del modo transmitido.

El canal de transmisión es *fragmentado* en los dominios de tiempo y frecuencia como se muestra en la figura 33(a). En cada segmento de tiempo llamado símbolo OFDM, cada sub-banda de frecuencia es asignada a una subportadora ortogonal (figura 33(b)). Como los ecos son constituidos por réplicas retardadas de la señal original, al final del símbolo OFDM, se produce una interferencia inter-símbolo [34].



(a) (b)
 Figura 33. (a). Fragmentación del canal OFDM.
 (b). Distribución de las portadoras sobre el canal ¹⁵

- *Intervalo de Guarda.* El intervalo de guarda es una sección del inicio del símbolo añadida al final del símbolo. Como la proporción del símbolo usada para hacer el intervalo de guarda se incrementa, la capacidad de la transmisión disminuye, pero si se incrementa el número de portadoras, el período de símbolo incrementa y la misma proporción del intervalo de guarda brinda una mayor protección. Sin embargo, incrementar el número de portadoras impacta la complejidad del receptor y la capacidad de variación en el tiempo de los canales. Se especifican cuatro posibles valores para el intervalo de guarda que son: 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32 de la duración del símbolo OFDM. La elección depende principalmente del entorno de transmisión.

Las bandas de guarda son empleadas entre señales RF para facilitar la recepción de las diferentes señales en diferentes frecuencias. La razón de las bandas de guarda es debido a que los filtros en los receptores no pueden seleccionar portadoras espaciadas estrechamente y podría resultar interferencia. Aunque el uso del intervalo de guarda remueve el efecto de interferencia inter-símbolo bajo condiciones de multitrayectoria, no puede remover el efecto de desvanecimiento selectivo de frecuencia. Bajo estas condiciones, la amplitud y fase de cada subportadora es distorsionada.

- *Modulación de Sub-Portadoras.* Las subportadoras se modulan con constelaciones QPSK, 16-QAM o 64-QAM, uniformes para el caso de transmisión de un flujo de transporte único, y no uniformes cuando se combinan flujos jerarquizados HP Y LP.

- *Características espectrales OFDM.* Los símbolos OFDM constituyen una superposición de portadoras ortogonales igualmente espaciadas. Las amplitudes y las fases de las portadoras varían de un símbolo a otro y el espectro resultante es

¹⁵ Fuente: COFDM an opportunity to operate differently broadcast networks?

la suma de los espectros particulares de cada portadora. La figura 34 muestra el espectro para los estándares 2k y 8k en canales de 8 MHz de ancho de banda.

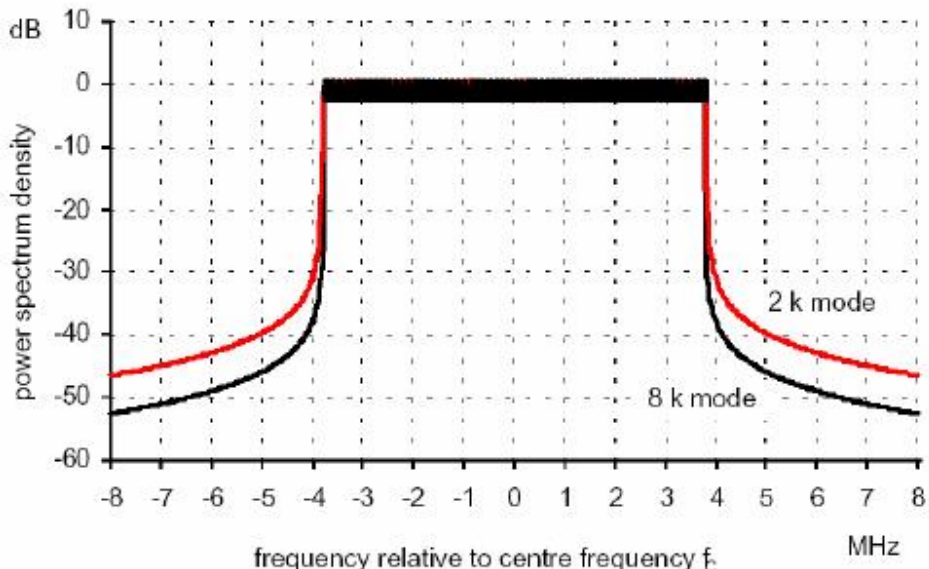


Figura 34. Espectro DVB-T para un ancho de banda de 8 MHz¹⁶

- *Ancho de Banda DVB-T.* DVB-T puede operar en canales con anchos de banda de 6, 7 u 8 MHz. La diferencia entre las tres posibles formas se encuentra en el ajuste de la frecuencia del reloj, cambiando así, algunos parámetros específicos. En la tabla 19 se observan las principales características que difieren cuando DVB-T opera en distintos anchos de banda.

Tabla 19. Anchos de banda para DVB-T

Característica	8 MHz	7 MHz	6 MHz
Período del Reloj	7/64 μ s	1/8 μ s	7/48 μ s
Intervalos de Guarda	1/4, 1/8, 1/16, 1/36	1/4, 1/8, 1/16, 1/36	1/4, 1/8, 1/16, 1/36
Espaciamiento entre portadoras	7,61 MHz	6,66 MHz	5,71 MHz

- *Tasa de Datos.* DVB-T opera en un rango variable de tasa de datos que están relacionados con el ancho de banda de transmisión, el tamaño de la modulación QAM y el intervalo de guarda. En las tablas 20 y 21 se observa el rango de velocidad de transmisión especificado para cada ancho de banda.

Tabla 20. Tasas de Datos para DVB según el ancho de banda

¹⁶ Fuente: COFDM an opportunity to operate differently broadcast networks?

Ancho de Banda	8 MHz	7 MHz	6 MHz
Tasa de Datos (Mbps)	4,98 y 31,67	4,35 y 27,71	3,73 y 23,75

Tabla 21. Tasas binarias posibles para los tres tipos de modulaciones.

Modulación	Bits por subportadora	Razón de código interno	Intervalo de guarda			
			1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	2	1/4	4,98	5,53	5,85	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	4	1/4	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	18,10
		5/6	16,59	18,43	19,52	20,11
		7/8	17,42	19,35	20,49	21,11
64-QAM	8	1/4	14,93	16,59	17,56	18,10
		2/3	19,91	22,12	23,42	24,13
		3/4	22,39	24,888	26,35	27,14
		5/6	24,88	27,65	29,27	30,16
		7/8	16,13	29,03	30,71	31,67

La tasa de datos también está relacionada con la resolución de video utilizada y con el número de señales MPEG-2 que se multiplexan en cada TS. El estándar DVB-T no especifica el formato de los contenidos, quedando en función de los operadores de televisión la elección del formato y el número de programas a transmitir [49].

4.2.7 Operación de DVB en redes de frecuencia única. La operación del estándar DVB para redes de frecuencia única (SFN, single frequency network) se especifica en el documento ETSI TS 101 191: *Digital Video Broadcasting (DVB); DVB mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization* [50], y la descripción del sistema se observa en la figura 35

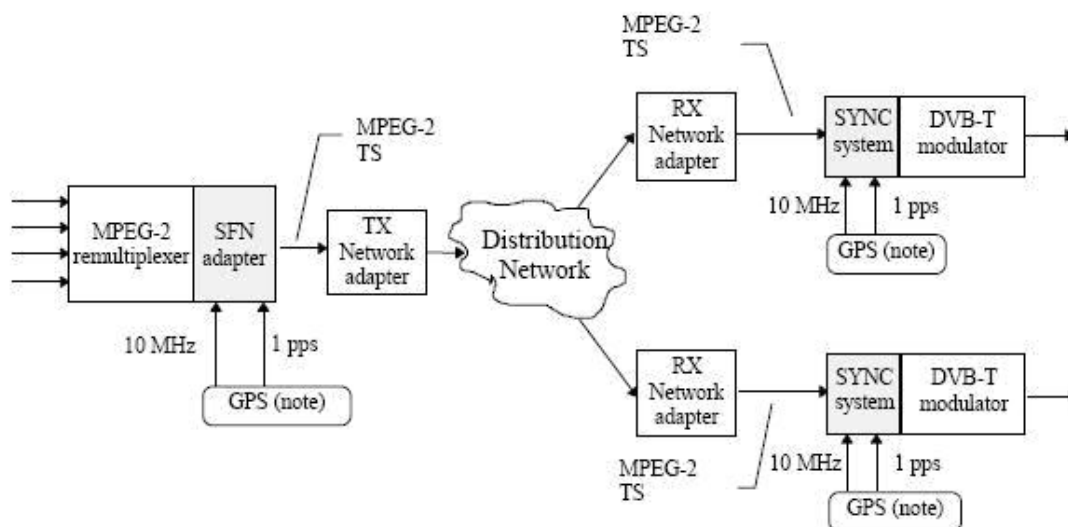


Figura 35. Redes de frecuencia única para DVB-T¹⁷

El funcionamiento de DVB-T en SFN se describe a continuación:

- El flujo de transporte multiplexado deberá ser complementado en la etapa de producción, ya que entra a un multiplexor y a un adaptador SFN en el cual se inserta un paquete de referencia que lleva una identificación única y marca horaria. En este caso todos los transmisores deben sincronizarse a una sola señal de referencia, utilizando la señal de marca horaria del sistema de posicionamiento global (GPS).
- El flujo de transporte adaptado es distribuido geográficamente a la red de distribución y recibidos en los transmisores (conocidos como celdas de transmisión).
- Cada transmisor remueve el paquete de referencia horaria del flujo de transporte y luego realiza una comparación de su marca horaria con la marca referencia local. Esto permite determinar la compensación necesaria en cada transmisor al retardo de propagación de la red de distribución para lograr sincronización de la RFU.
- El flujo de transporte es codificado y demodulado en formato DVB-T utilizando la misma transmisión en sincronización con las demás celdas.
- La sincronización en la transmisión se logra empleando información de temporización específica en la cabecera de la red y proporciona y por la provisión de un sistema de alineamiento automático en cada transmisor [35].

4.2.8 Características del Receptor. La funcionalidad del receptor para el estándar DVB es básicamente la misma que para ATSC. La norma DVB específica

¹⁷ European Telecommunications Standards Institute. ETSI TS 101 191 Digital Video Broadcasting (DVB); DVB mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization.

que la recepción de la TDT se consigue mediante un Decodificador Receptor Integrado (IRD). La figura 36 muestra el diagrama de bloques funcional de un IRD [51].

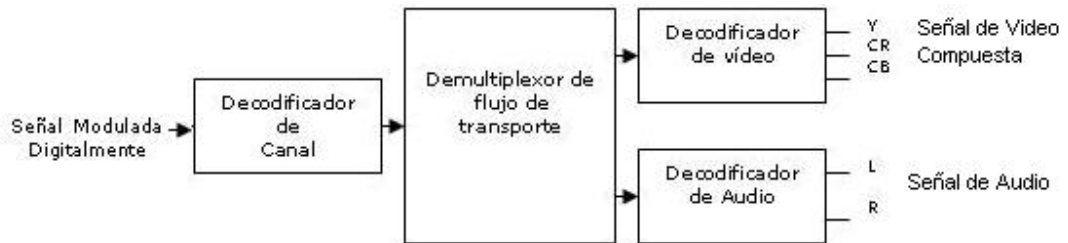


Figura 36. Diagrama funcional del IRD

Las señales moduladas digitalmente van a un *decodificador de canal*, que consta de un sintonizador, un demodulador digital y corrección avanzada de errores FEC, reproduciendo el flujo de transporte original TS. El TS va al *demultiplexor de transporte*, el cual identifica cada paquete según su identificador de programa y reconstruye los paquetes elementales de los programas. La sección de video consta de un *decodificador de video MPEG-2* que lo convierte a sus componentes originales: Y, C_R y C_B. La sección de audio consta de un *decodificador de audio MPEG-2* que procesa las señales de audio.

4.2.9. DVB para terminales portátiles. DVB-H es una extensión de la norma DVB-T para la distribución de TDT en terminales portátiles, adaptándola a las exigencias de los dispositivos móviles. Se encuentra definida en el documento ETSI EN 302 304, *Digital Video Broadcasting (DVB); Transmission System for Handheld Terminals (DVB-H)* [52]. Las características principales son:

- DVB-H utiliza el sistema de transmisión DVB-T añadiendo un mecanismo adicional de corrección de errores y de segmentación de tiempo.
- DVB-H transporta datagramas IP encapsulados.
- La señal es insertada al flujo de transporte mediante ráfagas periódicas.
- Permite la operación en el modo “4k”, proporcionando un total de 4096 portadoras, presentando un compromiso entre calidad de recepción en movimiento y tamaño de la red.
- Los receptores portátiles son alimentados con baterías, consumiendo baja potencia.

4.3 ISDB (Integrated Service Digital Broadcasting)

El estándar ISDB-T desarrollado por el Grupo de Expertos en Radiodifusión Digital (DiBEG), describe un sistema diseñado para transmitir datos a velocidades desde 3,561 a 30,980 Mbps sobre canales de 6, 7 u 8 MHz. Es similar en muchos

aspectos al estándar DVB-T, la diferencia radica en el uso de transmisión OFDM de banda segmentada (BST-OFDM), lo que permite asignar al mismo ancho de banda varios servicios, incluyendo datos, radio, televisión en formatos SDTV y HDTV en forma flexible. Este sistema presenta ventajas tecnológicas en recepción móvil, compatible con sistemas de radiodifusión terrestre de sonido digital.

El sistema usa métodos de codificación de video y audio avanzados, de esta forma varios contenidos digitales como sonido, texto, imágenes y datos pueden transmitirse simultáneamente. Tiene convergencia e interoperabilidad con otros sistemas de radiodifusión, como satelital y por cable.

Trabaja en tres modos de transmisión para habilitar el uso de un amplio rango de frecuencias de transmisión, y tiene cuatro opciones de longitud de intervalo de guarda para permitir un mejor diseño de una red de frecuencia única (SFN).

En particular las ventajas de ISDB-T en recepción móvil permiten que sea adoptado.

4.3.1 Antecedentes históricos. ISDB comprende una serie de estándares de televisión digital desarrollados por ARIB (Association of Radio Industries and Business) y por JCTEA (Japan Cable Television Engineering Association).

Con respecto al sistema de radiodifusión terrestre digital, estudios del esquema de modulación OFDM iniciaron en 1986, resultando en experimentos de señales de video transmitidas a terminales móviles en 1992. En 1995, MPT (Ministry of Posts and Telecommunications) estableció DTV-Lab, consorcio de desarrollo del sistema de radiodifusión digital avanzada. En 1996, el Grupo de Desarrollo de Sistema de Radiodifusión Terrestre Digital fue instalado por ARIB.

En 1998, se inició el desarrollo de un sistema que trabajaría en torno a televisión digital terrestre. Estos sistemas de radiodifusión terrestre digital fueron presentados en un reporte técnico a TTC en 1999, seguidos por experimentos, usando la Torre de transmisión de Tokio que cubre el área metropolitana de la ciudad. Fueron aprobados como Sistema C de la Recomendación ITU-R BT.1306 en el 2000.

Los servicios de radiodifusión de televisión digital terrestre comenzaron en diciembre de 2003 en Tokio, Osaka y Nagoya [53].

4.3.2 Sistema de televisión ISDB-T. ISDB usa codificación de Video MPEG-2 y codificación de audio avanzada MPEG-2 (AAC). Además, adopta sistemas MPEG-2 para encapsular un flujo de datos. De esta forma, varios contenidos digitales tales como sonido, texto, imágenes quietas, y otros datos pueden ser transmitidos simultáneamente. Tiene convergencia e interoperabilidad con otros sistemas que adoptan MPEG-2, tales como ISDB-S, ISDB-C, ISDB-T y el sistema de

radiodifusión de sonido digital satelital en Japón. Utiliza entrelazado en dos dimensiones (dominio en frecuencia y en el tiempo) y códigos de corrección de errores concatenados.

Emplea interfaz MPEG-2 para multiplexación de señales. Especifica transmisión OFDM con esquemas de modulación digital incluyendo QPSK, DQPSK, 16-QAM y 64-QAM, su esquema de modulación es llamado OFDM con Transmisión de banda segmentada (BST-OFDM). La señal de transmisión consiste de bloques OFDM compuestos de 13 segmentos y uno de ellos, en el centro del ancho de banda puede ser usado independientemente como servicios de audio y datos para recepción parcial móvil dentro del ancho de banda del canal.

El sistema soporta transmisiones jerárquicas hasta de tres capas. Los parámetros de transmisión pueden ser cambiados en cada una de esas capas. En particular, el segmento central de esta transmisión jerárquica puede ser recibido por receptores manuales de un segmento. Debido a la estructura común de un segmento OFDM, un receptor de un segmento puede recibir parcialmente un programa transmitido en el segmento central de una señal ISDB-T de banda completa (recepción parcial, un receptor elige sólo parte del ancho de banda de transmisión) [54].

- *Modos.* En consideración de la propiedad de distancia entre estaciones SFN y la robustez ante el cambio Doppler durante recepción móvil, ISDB-T ofrece tres diferentes frecuencias de portadora OFDM. Estos espaciamientos son identificados como modos de sistema. Los espaciamientos disponibles entre frecuencias de portadora OFDM son aproximadamente 4 kHz, 2 kHz y 1 kHz en modos 1, 2 y 3 respectivamente.

El número de portadoras usado varía dependiendo del modo, pero la velocidad de transmisión de bits de la información puede ser transmitida continuando en los mismos modos.

- *Transmisión jerárquica.* Se logra por la transmisión de grupos de segmentos OFDM que tienen diferentes parámetros de transmisión en un canal. Parte de un canal de televisión puede ser usado para servicio de recepción fija y el resto para recepción móvil. Se pueden transmitir tres capas (tres grupos de segmentos diferentes) máximo, en un canal al mismo tiempo. Para multiplexación, se transmite un solo flujo de transporte en el ancho de banda del canal de 5,6 MHz, si una transmisión jerárquica está en operación o no, por lo tanto, es necesaria la división y síntesis del flujo de transporte tanto en la transmisión como en la recepción.

- *Recepción Parcial.* Es posible separar el segmento independiente desde los segmentos remanentes en la señal transmitida. Así se puede obtener recepción

parcial de servicios contenidos en un canal de transmisión, usando un receptor de banda estrecha que tenga el ancho de banda de un segmento OFDM.

Como para un segmento OFDM en el centro de una señal de radiodifusión de televisión de 13 segmentos, es posible conducir codificación del canal tal que el rango de entrelazado en frecuencia sea limitado dentro del segmento. Esta configuración permite a un receptor ISDB-T recibir un segmento de servicio incrustado en una señal de televisión jerárquica.

En la figura 37 se muestra la transmisión jerárquica y la recepción parcial.

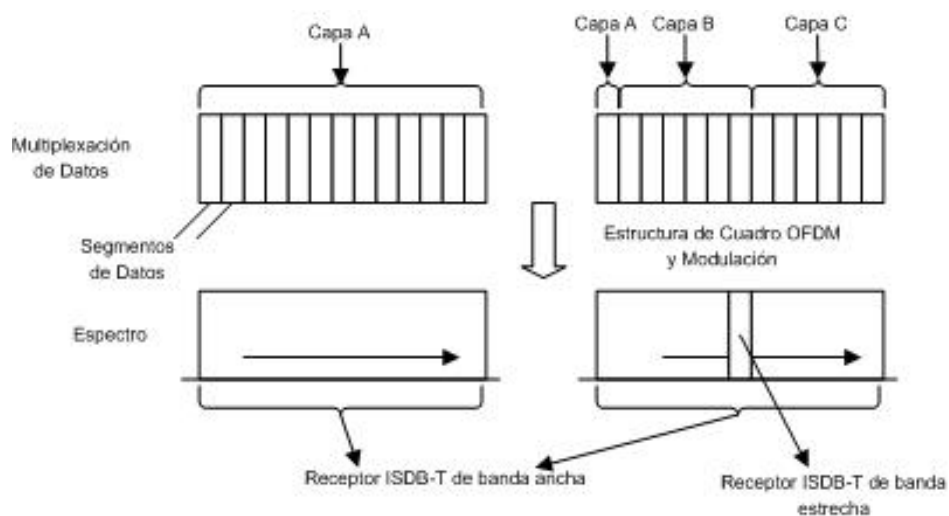


Figura 37. Transmisión jerárquica y recepción parcial

- *Parámetros de Transmisión.* ISDB-T opera en canales con un ancho de banda de 6 MHz, pero, a igual que DVB-T, es escalable para 7 y 8 MHz, los parámetros de transmisión de ISDB-T para un canal de 6 MHz se pueden observar en la tabla 22.

Tabla 22. Parámetros de transmisión para ISDB-T (6 MHz)

Modo	Modo 1	Modo 2	Modo 3
Número de segmentos (N)	13		
Ancho de banda	$3000/7(\text{kHz}) \times N + 250/63(\text{kHz}) = 5,575 \text{ MHz}$	$3000/7(\text{kHz}) \times N + 125/63(\text{kHz}) = 5,573 \text{ MHz}$	$3000/7(\text{kHz}) \times N + 125/126(\text{kHz}) = 5,572 \text{ MHz}$
Espaciamiento entre portadoras	250/63 kHz	125/63 kHz	125/126 kHz

Número de portadoras	$108 \times N + 1 = 1405$	$216 \times N + 1 = 2809$	$432 \times N + 1 = 5617$
Modulación de portadora	QPSK, 16-QAM, 64-QAM, DQPSK		
Número de símbolos por cuadro	204		
Duración de Símbolo efectiva	252 μ s	504 μ s	1008 μ s
Intervalo de Guarda	1/4, 1/8, 1/16, 1/32 de la duración de símbolo efectiva		
Duración de Cuadro	64,26 ms (1/4), 57,834 ms (1/8), 54,621 ms (1/16), 53,0145 ms (1/32)	64,26 ms (1/4), 115,668 ms (1/8), 109,242 ms (1/16), 106,029 ms (1/32)	257,04 ms (1/4), 231,336 ms (1/8), 218,464 ms (1/16), 212,058 ms (1/32)
Código Interno	Código Convolutivo (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)		
Código Externo	RS (204, 188)		

4.3.3 Características de video. Las señales de video están compuestas de una representación de luminancia y dos señales diferencia de color. Los valores muestreados se cuantizan en 8 o 10 bits. La codificación se realiza mediante codificación con predicción de movimiento compensado, utilizado por la norma para codificación de video MPEG-2, en las tablas 23 y 24 se pueden observar los parámetros y áreas de codificación [55].

Tabla 23. Restricciones de parámetros de codificación

Líneas verticales	Líneas horizontales	Información de razón de aspecto	Velocidad de Código de cuadro	Secuencia progresiva	Otros parámetros
1080	1920; 1440	16:9	29,97	Entrelazado	MP@HL
720	1280	16:9	59,94	Progresivo	
480	720	16:9	59,94	Progresivo	MP@H14L
480	720; 544; 480	16:9 4:3	29,97	Entrelazado	MP@ML

Tabla 24. Áreas apropiadas de codificación

Formato de entrada de video	Número de líneas activas	Número de líneas a ser codificadas	Número de líneas de áreas de codificación
1125i	1080	1080	21 – 550 y 584 – 1125
750p	720	720	26 – 745

525p	483	480	45 – 524
525i	483	480	23 – 262 y 286 – 525

4.3.4 Características de audio. La frecuencia de muestreo para señales de audio es de 32; 44,1 o 48 kHz. Para configurar señales estereofónicas (consistiendo de dos o más señales de audio para lograr una reproducción tridimensional de sonido), el tiempo de muestreo para todas las señales es el mismo. El número de bits de cuantización para la señal de entrada es de 16 o más. El máximo número de canales de entrada de audio es cinco, además del canal usado para mejorar bajas frecuencias.

Las señales de audio se codifican, sobre la base de la norma MPEG-2, por medio de una combinación de la transformada en tiempo y frecuencia (en la cual la señal de entrada es transformada en componentes de frecuencia por medio de la transformada discreta del coseno y la cantidad de información es reducida usando la reducción en desviación de energía de los componentes en frecuencia) y pesado de forma psicoacústica (en la cual los códigos son pesados para minimizar la degradación de la señal en frecuencia que es percibido por los humanos) [56].

Tabla 25. Características del formato de audio

Parámetro		Característica
Modo de Audio	Modo de audio posible	Mono
		Estéreo
		Estéreo multicanal (canales frontales + canales posteriores)
		3 + 0 2 + 1 3 + 1
		2 + 2 3 + 2 3 + 2 + LFE
		2 señales de audio: Mono dual
		Multi-audio: 3 señales de audio o más
	Modo de audio recomendado	Varias combinaciones
		Mono
		Estéreo
		Estéreo multicanal (canales frontales + canales posteriores)
		3 + 1 3 + 2 3 + 2 + LFE
		2 señales de audio: Mono dual
Énfasis	Ninguno	

Tabla 26. Principales parámetros

Parámetro	Característica
Formato de flujo de bits	Flujo de Transporte de datos AAC (ADTS)

Perfil	Perfil de baja complejidad (LC)
Máximo número de canales codificados	5.1 canales (5 canales + canal LFE) por ADTS
Máxima velocidad de transmisión de bits	De acuerdo con ISO/IEC 13818-7

4.3.5 Múltiplex y Transporte. La multiplexación del sistema es compatible con el flujo de transporte MPEG-2. Además un cuadro de Múltiplex y descriptores TMCC (Transmission and Multiplexing Configuration Control), piloto contenida en todos los segmentos OFDM, están definidos para transmisión jerárquica con un solo TS (Transport Stream – Flujo de transporte)

- *Trama de Múltiplex.* Para permitir transmisión jerárquica usando el esquema OFDM de Transmisión de banda segmentada, el sistema ISDB-T define una trama de múltiplex de flujo de transporte MPEG-2. En la trama de múltiplex, el TS es continuo de 204 bytes RS-TSP compuestos de TSP (paquetes de flujo de transporte) y datos nulos de 16 bytes o paridad Reed-Solomon (RS).

El número de TSPs que se transmite en OFDM es más pequeño que el número de RS-TSP en la trama de múltiplex. De acuerdo con la tabla 27, la diferencia en número de TSPs entre los dos números corresponde a los RS-TSPs nulos.

Tabla 27. Número de TSPs por trama de multiplexación

Modo	Razones de Intervalo de guarda			
	1/4	1/8	1/16	1/32
Modo 1	1280	1152	1088	1056
Modo 2	2560	2304	2176	2112
Modo 3	5120	4608	4352	4224

4.3.6 Esquema de Transmisión de ISDB-T. El método de transmisión para ISDB-T emplea un esquema OFDM el cual tiene buena capacidad para eliminar la interferencia, ya sea multitrayectoria y/o de señales de radiodifusión analógica existente [56]. En señales OFDM moduladas 64-QAM, los datos recibidos son demodulados por medio de estimación de la respuesta del canal en cada portadora¹⁸.

Las señales ISDB-T consisten de un conjunto de bloques de frecuencia, llamados segmentos OFDM, cada uno con un ancho de banda de 430 kHz. ISDB-T proporciona varias combinaciones de esquemas de modulación de portadora (DQPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM) y razones de compresión de código interno

¹⁸ Para el desarrollo de las secciones 4.3.5 y 4.3.6 se tuvo en cuenta la referencia [55]

(1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8). Estos parámetros se pueden seleccionar de manera independiente para cada segmento OFDM.

ISDB-T de banda ancha habilita transmisión jerárquica usando un conjunto de segmentos OFDM con parámetros diferentes. Puede proporcionar servicios HDTV para un receptor integrado y servicios de multiprograma para todos los tipos de receptores. ISDB-T de banda estrecha es apropiado para radiodifusión de audio y datos.

El segmento OFDM tiene una estructura de cuadro para el dominio de frecuencia y tiempo. El cuadro está conformado de 108 portadoras y 204 símbolos. La señal ISDB-T de banda ancha consiste de 13 segmentos OFDM. En el segmento OFDM, cada portadora es modulada en 64-QAM, 16-QAM ó QPSK. Hay algunos símbolos especiales o portadoras tales como SP, TMCC, ACI. Pilotos dispersas (SP) son usadas para la respuesta en frecuencia de la estimación del canal. Piloto continua (CP), Canal 1 Auxiliar (ACI) son principalmente usados para frecuencias de sincronización. Transmisión y Control de Configuración de Multiplexación (TMCC) transmiten información acerca del esquema de modulación de portadora y la velocidad de codificación de error para todos los segmentos OFDM.

- *Codificación del canal.* El bloque de codificación de canal recibe los paquetes ordenados en la trama de múltiplex y bajan los paquetes del canal codificado al bloque de modulación OFDM, como se muestra en la figura 38.



Figura 38. Diagrama de Codificación de canal

El *código externo RS* (Reed Solomon) (204, 188, t=8) es aplicado a cada TSP MPEG-2 para generar un TSP protegido contra errores. El código RS puede corregir hasta 8 bytes erróneos de manera aleatoria en una palabra recibida de 204 bytes.

Un flujo de transporte del codificador externo se divide cada 204 bytes, y luego se clasifican hasta en tres capas predeterminadas de acuerdo con la información de control jerárquica. En este proceso, conocido como *Separación Jerárquica*, cada paquete de flujo de transporte es dividido al final del byte de sincronización y el sync del cuadro OFDM es retardado por un byte. En el caso de transmisión no jerárquica, un solo flujo sólo debe definirse para la transmisión completa.

Los paquetes nulos en la trama de múltiplex son removidos en el divisor o separador. En la figura 39 se muestra un ejemplo de división del flujo de transporte para el caso de dos capas jerárquicas.

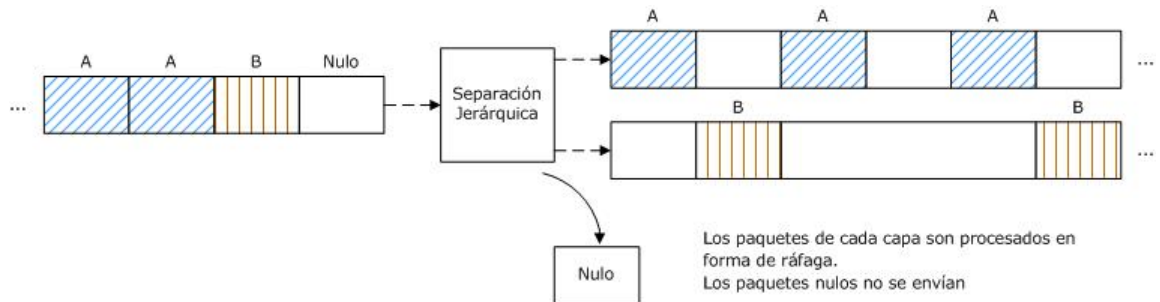


Figura 39. Separación jerárquica y procesamiento paralelo (ejemplo de dos capas)

Para asegurar transiciones binarias adecuadas, los datos desde el divisor son *aleatorios* con secuencias PRBS (secuencia binaria pseudos-aleatoria). En el *entrelazado* a nivel de byte, el retardo causado en el proceso de entrelazamiento difiere de flujo a flujo de capas diferentes dependiendo de sus propiedades (es decir, modulación y codificación de canal). Para compensar la diferencia de retardo incluida en el proceso inverso de entrelazado en el receptor, se realiza ajuste de retardo para el entrelazamiento a nivel de byte en la transmisión.

La cantidad de retardo a ser ajustada es definida en términos del número de paquetes de flujo de transporte para cada flujo de capa, como se muestra en la tabla 28. N indica el número de segmentos usados por una capa.

En cada capa, el retardo total incluso los 11 paquetes del entrelazado a nivel de byte y del proceso inverso, se ajusta a un cuadro de múltiplex independientemente de sus propiedades jerárquicas.

Tabla 28. Paquetes del flujo de transporte.

Portadora	Razón de código convolucional	Número de paquetes de flujo de transporte para Ajuste de Retardo		
		Modo 1	Modo 2	Modo 3
DQPSK	1/2	12xN-11	24xN-11	48xN-11
	2/3	16xN-11	32xN-11	64xN-11
	3/4	18xN-11	36xN-11	72xN-11
QPSK	5/6	20xN-11	40xN-11	80xN-11
	7/8	21xN-11	42xN-11	84xN-11
16-QAM	1/2	24xN-11	48xN-11	96xN-11
	2/3	32xN-11	64xN-11	128xN-11
	3/4	36xN-11	72xN-11	144xN-11

	5/6	40xN-11	80xN-11	160xN-11
	7/8	42xN-11	84xN-11	168xN-11
64-QAM	1/2	36xN-11	72xN-11	144xN-11
	2/3	48xN-11	96xN-11	192xN-11
	3/4	54xN-11	108xN-11	216xN-11
	5/6	60xN-11	120xN-11	240xN-11
	7/8	63xN-11	126xN-11	252xN-11

El entrelazado a nivel de byte convolucional (*Código interno*) con longitud de $l = 12$ se aplica a los paquetes de 204 bytes protegidos de errores y aleatorios. Para propósitos de sincronización, los bytes justo antes de los bytes SYNC se enrutan en la bifurcación '0' del entrelazador (correspondiente a un retardo nulo). El sistema permitirá un rango de códigos convolucionales perforados¹⁹, basados en un código madre convolucional de razón 1/2 con 64 estados. Esto permitirá selección de la propiedad de corrección de error para un servicio dado o velocidad de datos en ISDB-T incluyendo los servicios móviles.

▪ *Modulación OFDM.* El bloque de modulación OFDM, el cual recibe paquetes del flujo de transporte codificados del canal desde el codificador interno y envía la señal OFDM. En la figura 40 se presenta un diagrama de bloques de este proceso.

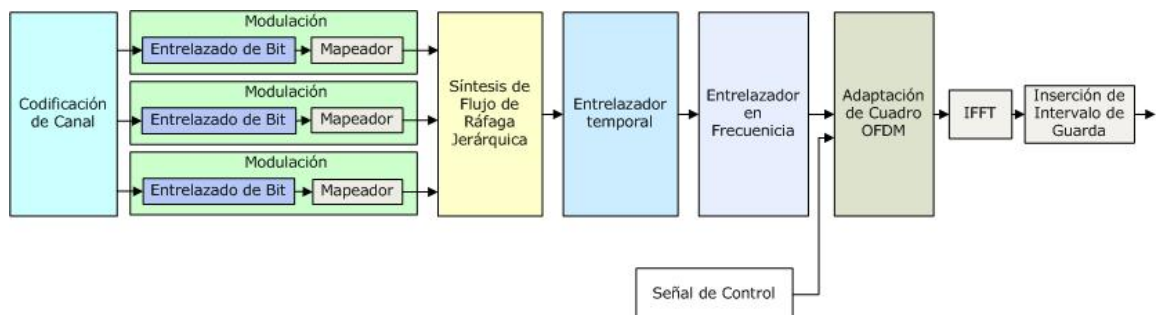


Figura 40. Diagrama de bloques de Modulación

En la tabla 29 se muestra el número de bits para ajuste de retardo de acuerdo con el tipo de modulación empleado, donde N indica el número de segmentos usados en una capa determinada.

Tabla 29. Ajuste de Retardo para entrelazado de bit

¹⁹ Códigos perforados (Punctured codes), 'puncturing' es una técnica de remoción de algunos bits para asegurar una transmisión de datos sin errores.

Modulación	Número de bits para Ajuste de Retardo		
	Modo 1	Modo 2	Modo 3
DQPSK QPSK	384 x N-240	768 x N-240	1536 x N-240
16-QAM	768 x N-480	1536 x N-480	3072 x N-480
64-QAM	1152 X N-720	2304 x N-720	4608 x N-720

De acuerdo con el tipo de mapeo, la secuencia serial de bits a la salida del codificador interno se convierte a una secuencia paralelo de cierto número de bits, según corresponda.

- *DQPSK*. Conversión S/P a una secuencia de dos bits. Después de la conversión serial a paralelo (S/P), el entrelazado de bit se realiza insertando un retardo de 15 bits en la segunda salida del conversor S/P.
- *QPSK*. Conversión S/P a una de 2 bits. Para el entrelazado de bits, se inserta un retardo de 120 bits en la segunda salida del conversor S/P.
- *16-QAM*. Conversión S/P a una de 4 bits. Para el entrelazado de bits, se insertan retardos de bit a las salidas b1 a b3 del conversor S/P.
- *64-QAM*. Conversión S/P a una de 6 bits. El entrelazado se realiza por la inserción de retardos de bit en las salidas b1 a b5 del conversor S/P.

Después de codificado y mapeado el canal, los datos complejos de cada capa son insertados a cada uno de los segmentos de datos. Se asignan trece segmentos de la siguiente forma:

- Un segmento para la capa de recepción parcial, si se usa
- Un cierto número de segmentos para la capa de modulación diferencial
- El resto de segmentos para la capa de modulación coherente.

Los datos registrados en todos los segmentos de datos son leídos cíclicamente con el reloj de muestreo de IFFT; luego se realizan las conversiones de velocidad. Cada capa es designada como Capa A, Capa B o Capa C en el orden de asignación.

Después de la síntesis, se realiza *entrelazado temporal* a nivel de símbolo. Se ajusta un retardo con el entrelazado temporal de acuerdo con un entero l , como se muestra en la tabla 30.

Tabla 30. Ajuste de retardo con el entrelazado temporal

Modo	l	Número de símbolos para ajuste de retardo	Número de cuadros OFDM a ser retardados
Modo 1	0	0	0
	4	28	2
	8	56	4
	16	112	8
	32	224	16
Modo 2	0	0	0
	2	14	1
	4	28	2
	8	56	4
	16	112	8
Modo 3	0	0	0
	1	109	1
	2	14	1
	4	28	2
	8	56	4

- *Entrelazado en frecuencia.* Se realiza entre los segmentos que tienen el mismo esquema de modulación.
- *Entrelazado inter-segmento.* Se realiza entre segmentos con modulación diferencial (DQPSK) y entre modulación coherente (QPSK, 16-QAM y 64-QAM).
- *Estructura de Cuadro de Segmento OFDM.* Por adición de pilotos, los segmentos de datos son ordenados en cuadros de segmento OFDM cada 204 símbolos.

Cada portadora de cuatro clases de pilotos es modulada DBPSK y transporta la información dedicada para cada piloto

- *Pilotos Dispersas (SP).* Son moduladas de acuerdo con la secuencia PBRS.
 - *Pilotos Continuas.* Son moduladas de la misma forma que las dispersas. La fase de modulación es constante en todos los símbolos
 - *TMCC.* El bit de referencia para modulación diferencial es el primero de los datos TMCC.
 - *AC.* El esquema de modulación es el mismo que para TMCC.
- *Espectro de Transmisión.* Los trece segmentos son enumerados de acuerdo con la figura 41. Los segmentos de modulación diferencial y de modulación coherente serán puestos desde segmentos internos a externos en orden.

Segmento No. 11	Segmento No. 9	Segmento No. 7	Segmento No. 5	Segmento No. 3	Segmento No. 1	Segmento No. 0	Segmento No. 2	Segmento No. 4	Segmento No. 6	Segmento No. 8	Segmento No. 10	Segmento No. 12
Modulación Coherente	Modulación Coherente	Modulación Coherente	Modulación Diferencial	Modulación Diferencial	Modulación Diferencial	Modulación Parcial	Modulación Diferencial	Modulación Diferencial	Modulación Diferencial	Modulación Coherente	Modulación Coherente	Modulación Coherente

Figura 41. Número de Segmentos y ejemplo de Ubicación de segmentos en el Espectro de Transmisión.

- *Inserción del Intervalo de Guarda.* Un intervalo de guarda es insertado como se muestra en la figura 42, donde una réplica de los datos back-end de IFFT es puesta en frente de los datos de símbolo efectivos. La longitud de la réplica corresponde a la duración del intervalo de guarda.

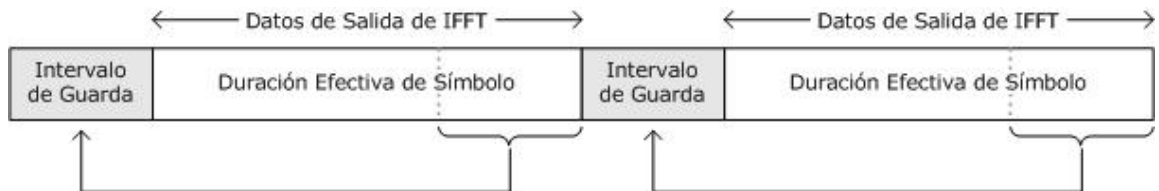


Figura 42. Intervalo de guarda

- *Control de configuración de Transmisión y multiplexación (TMCC).* La señal TMCC transporta la información sobre configuración de capas de transmisión jerárquica, tal como propiedades de capa y cambio de ella.
- *Información TMCC.* La información TMCC está compuesta del descriptor del sistema, el índice de conteo regresivo, la bandera de encendido (switch-on) para alerta de radiodifusión, configuración actual y siguiente configuración.
- *Canal Auxiliar.* El canal auxiliar (AC) es proporcionado para datos complementarios además del canal de radiodifusión que está transmitiendo video, audio y datos en el flujo de transporte MPEG-2. Tiene dos sub-canales: AC1 y AC2.

La modulación para AC es DBPSK. Excepto para el primer símbolo usado para la referencia de fase, cada portadora AC puede transportar 203 bits por cuadro.

4.3.7 Transmisión a terminales portátiles. El ancho de banda del sistema ISDB-T fue determinado con el propósito de que se transmitiera HDTV durante la coexistencia con el servicio analógico. El esquema BST-OFDM fue ideado para proporcionar servicios de recepción móvil y portátil, junto con HDTV. De los trece segmentos en que se divide la banda de transmisión del canal, es posible, por ejemplo, utilizar cinco segmentos para recepción fija y ocho para recepción móvil.

También se puede obtener servicio de recepción móvil utilizando el segmento central de una banda proporcionando simultáneamente radiodifusión HDTV [57].

4.3.8 Operación en redes de frecuencia única. Para implementar SFN, se debe establecer sincronismo entre las ondas de radiodifusión [57]:

- *Frecuencia de transmisión.* Para prevenir interferencia entre portadoras dentro del área de servicio de SFN, las variaciones en la frecuencia de transmisión de cada onda deben ser de 1 Hz o menos.
- *Frecuencia de muestreo IFFT.* Para implementar SFN por medio de señales OFDM generadas a diferentes relojes de muestreo IFFT, como cuando múltiples moduladores OFDM se usan, todas las frecuencias de reloj de muestreo IFFT deben ser idénticas. Si una de las frecuencias difiere de las otras, la diferencia afecta el período de símbolo OFDM, esto es la velocidad de símbolo. Un cambio de símbolo más allá de la longitud del intervalo de guarda es producido entre señales OFDM, causando interferencia entre símbolos.

La frecuencia de cada una de las portadoras más alta y más baja de la banda de frecuencia no debe variar por más de 1 Hz como resultado de las variaciones en la frecuencia de muestreo.

- *Señales OFDM.* Cuando múltiples moduladores OFDM se usan, las formas de onda de la señal de salida OFDM deben ser las mismas para todas las estaciones SFN. Es preferible seleccionar una temporización de transmisión tal que la diferencia en retardo dentro del área de servicio sea más corta que el intervalo de guarda.

4.3.9 Recepción. En la figura 43 se puede observar la configuración básica del receptor ISDB-T [57], [58].

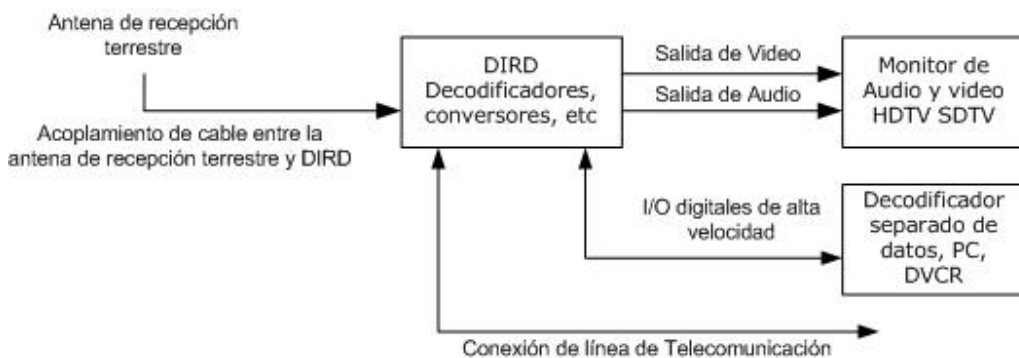


Figura 43. Configuración básica del receptor

En el esquema de la figura 43 se presenta la configuración básica de un receptor terrestre ISDB. La señal es captada por la antena de recepción terrestre. Esta

antena va a un decodificador receptor integrado digital, en donde se procesa el flujo de datos para obtener salidas de video y audio individuales que serán mostradas a través de la pantalla del televisor. El decodificador integrado también tiene la capacidad de procesar los datos complementarios o de acceso condicional cuyas salidas van al decodificador ya sea adaptado o integrado al televisor.

En la figura 44 se muestra el esquema de un decodificador receptor integrado digital, en donde se muestran los procesos inversos a las etapas de modulación, entrelazado, codificación, entre otros, que se efectúan para la transmisión de la señal. A la salida del decodificador se obtienen las señales de video, ya sea en SDTV o HDTV, de acuerdo con el formato en que se están recibiendo las señales

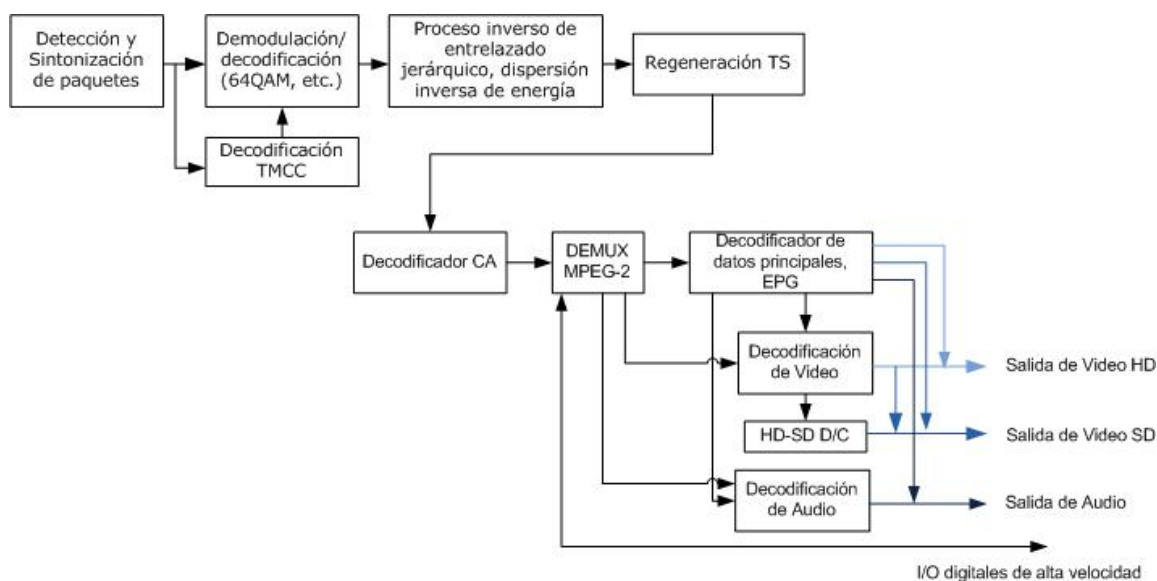


Figura 44. Configuración básica del decodificador receptor integrado digital (DIRD)

4.4 OBSERVACIONES

En este capítulo se presentaron las descripciones técnicas del sistema para TDT para cada uno de los tres estándares actuales. No sobra mencionar que últimamente han sido desarrollados otros estándares de TDT basados en los anteriormente descritos. Estos estándares no hacen parte del estudio realizado ya que son modificaciones de los estándares ya estudiados.

- *DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcast)* desarrollado en China y basado en el estándar DVB-T, con algunas modificaciones en el tipo de modulación utilizado.

- *SBTVD-T (Sistema Brasileño de Televisión Digital Terrestre)*. Adoptado por Brasil en el 2006 y corresponde al Sistema Japonés ISDB-T con algunas modificaciones en los formatos de compresión utilizados.

En el anexo A de este documento se encuentra una tabla comparativa donde se resumen las características más relevantes de cada uno de los estándares y que son de gran importancia en el momento de la selección del más apropiado para el caso de Colombia.

5. DESCRIPCIÓN DE LA RED DE TELEVISIÓN DIGITAL

5.1 RED DE TELEVISIÓN ANALÓGICA

La implementación de la televisión digital implica cambios en el esquema general de transmisión de televisión analógica. Sin embargo, se pueden aprovechar algunas similitudes del sistema de radiodifusión terrestre actual para la implementación de televisión digital.

5.1.1 Configuración física. El sistema general de transmisión de televisión consiste fundamentalmente en cuatro etapas, centro de producción, emisión, transmisión y recepción. La evolución tecnológica apunta a un cambio operacional en cada una de estas etapas, al cambiar de la tecnología analógica a la digital, manteniéndose el sistema general de transmisión y recepción. En la figura 45 se ilustra un diagrama de bloques, general, del sistema de transmisión [59], [60].

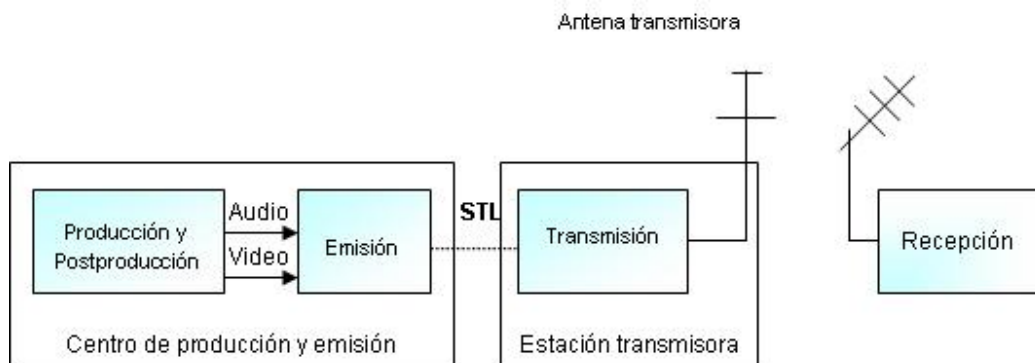


Figura 45. Diagrama de bloques del sistema general de transmisión terrestre.

En el centro de producción y emisión se realiza la captura, grabación y edición de las imágenes que constituyen el programa que se va a emitir, ya sea en directo o pregrabado. En esta etapa del sistema se realizan tareas de preproducción, producción, postproducción y distribución.

La estación transmisora es el sitio donde se efectúa la radiación de los programas para ser transmitidos mediante ondas terrestres. Normalmente se encuentra separada del centro de producción y está ubicada en cerros altos a las afueras de las ciudades.

Estos dos sitios se unen mediante un enlace estudio a transmisor STL (Studio to transmitter link) que normalmente es un radio enlace con portadora de microondas, la cual ofrece una gran confiabilidad y eficiencia a un bajo costo.

La señal transmitida se recibe a través de una antena terrestre y mediante el receptor de televisión, se lleva a cabo el proceso contrario al de codificación, con el objetivo de recuperar los contenidos enviados originalmente en el sistema de emisión.

5.1.2 Configuración operacional. Operacionalmente, toda estación involucra los procesos de adquisición, producción y transmisión. Actualmente se pueden encontrar diferentes configuraciones, las cuales pueden variar de acuerdo a la tecnología y equipos involucrados. Para la televisión digital terrestre los tipos de configuraciones operacionales dependen del estándar de transmisión que se elija (ATSC, DVB-T e ISDB-T) y del formato en que se transmite la señal (HD o SD). En un principio, las estaciones tendrán configuraciones operacionales que combinen ambas tecnologías digital y analógica y posteriormente, cuando se lleve a cabo el apagón analógico, sólo con tecnología digital.

5.1.3 Centro de producción y Emisión. La producción de televisión implica la generación de contenidos para el usuario mediante equipos de alta tecnología, que le permitan disfrutar del contenido televisivo, ya sean escenas con ángulos variantes, cambios abruptos de lugares, inserción de publicidad, efectos de video y audio y otros efectos especiales.

Típicamente, un canal de televisión contiene varios estudios (donde se realiza la grabación del programa respectivo), dos o más cabinas de control, un cuarto de equipos y por supuesto, el transmisor, que permite que los contenidos sean difundidos. En la figura 46 se muestra un esquema básico de un estudio de televisión [61].

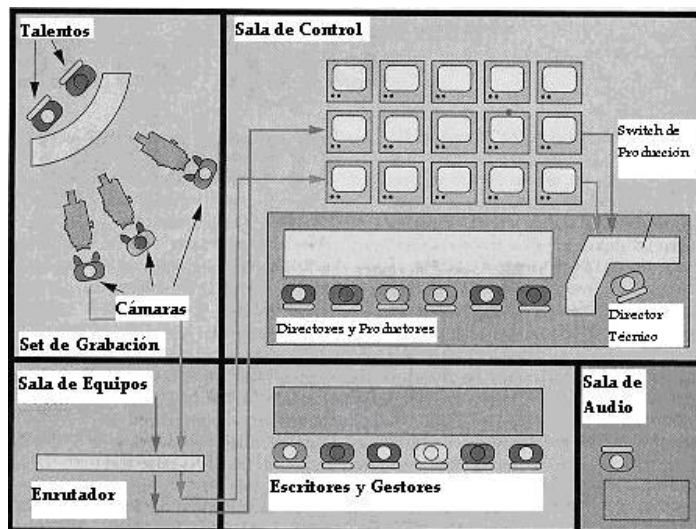


Figura 46. Distribución del centro de producción²⁰

En el set de producción se realiza la grabación del programa. Allí se encuentran las diferentes cámaras que permiten capturar escenas desde diferentes ángulos. En la cabina de control, los ingenieros de producción incluyen tomas de diferentes ángulos o de reportajes remotos, del comercial que está a punto de salir al aire y en algunos casos, desde una transmisión satelital de algún proveedor. En la figura 47 se puede observar una toma realizada en uno de los cuartos de control de la estación de televisión del canal TRO.



Figura 47. Cuarto de control²¹

²⁰ Fuente: <http://www.cienciasmisticas.com.ar/electronica/comunicaciones/itvdigital/index.php>

²¹ Fuente: Instalaciones del Canal TRO, Televisión Regional del Oriente

El switch de producción es la pieza más importante del cuarto de control y es usado para crear los efectos especiales como desvanecimientos de pantalla e inserción de comerciales. En la figura 48 se muestra un ejemplo de switch.



Figura 48. Switch de producción.

En la cabina de control es donde los productores definen el programa final que se va transmitir (ya sea en vivo o pregrabado) incluyendo los efectos de pantalla anteriormente mencionados.

En el cuarto de equipo se encuentra el Enrutador (*Routing Switch*), que contiene varias entradas de video y puertos de salida, este dispositivo soporta todo el video de un canal de TV, permitiendo la fácil conexión con las cámaras de video, generadores de caracteres y otros equipos de estudio. En la figura 49 se ilustra un ejemplo de un enrutador analógico.



Figura 49. Enrutador analógico²²

²² Fuente: instalaciones del Canal TRO

En la cabina de audio, los técnicos de sonido mantienen los niveles adecuados de las señales y hacen las mezclas necesarias para la transmisión final.

5.1.4 Enlace estudio a transmisor (STL). Una vez está lista la señal es necesario enviarla al puesto de transmisión. En las figura 50 y 51 se muestra un diagrama del enlace STL.

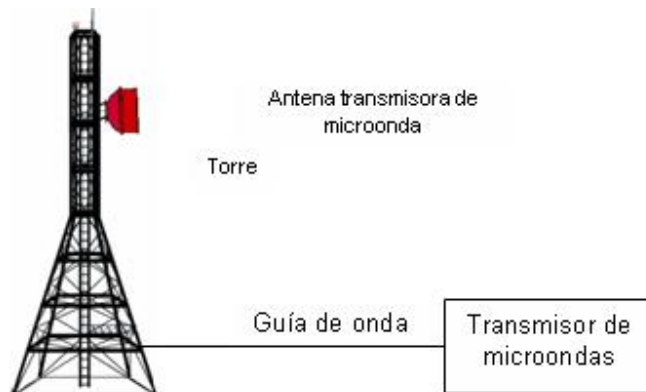


Figura 50. Área de emisión

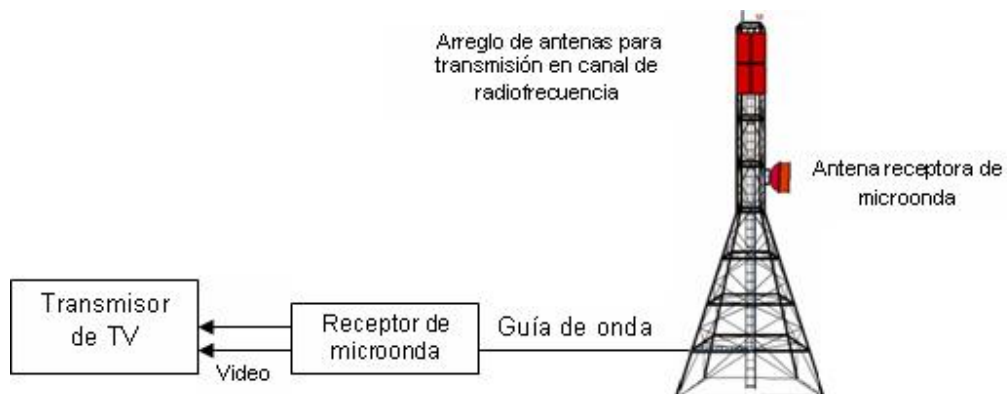


Figura 51. Área de recepción

Para el radio enlace microonda STL se implementa un equipo transmisor y uno receptor de microonda en las áreas de emisión y recepción, respectivamente. Estos equipos operan en la banda de GHz y tienen la función de modular en FM con frecuencia intermedia (FI) de 70 MHz, en el transmisor, y demodular a la misma frecuencia FI en el receptor.

5.1.5 Transmisión. La señal es enviada desde el área de emisión mediante la antena transmisora y recibida en la torre de transmisión mediante la antena y el receptor microonda. En esta etapa se efectúa la modulación y difusión de la señal

de televisión en el aire usando la banda de frecuencias radioeléctricas (UHF o VHF), como se muestra en la figura 51. Los principales equipos utilizados en esta etapa son el modulador analógico y la antena para la transmisión de las señales en el aire.

5.1.6 Recepción. La señal es recibida mediante una antena aérea ubicada normalmente en el techo de la casa o edificio y es enviada al televisor donde se demodula y se recuperan los contenidos enviados en la etapa de emisión.

5.2 RED DE TELEVISIÓN DIGITAL

Algunos equipos usados en la configuración física de televisión analógica se deben cambiar y otros deben ser adicionados, ya que la señal que se transmite ahora corresponde a flujos de bits.

La implementación final del sistema es propia de la estación de televisión y depende del estándar de transmisión que se adopte y el tipo de formato que se genere en los estudios (HDTV o SDTV). En la figura 52 se muestra un esquema resumido del sistema de televisión digital, cuya configuración física está compuesta por las mismas cuatro etapas de su equivalente analógico [62], [31].

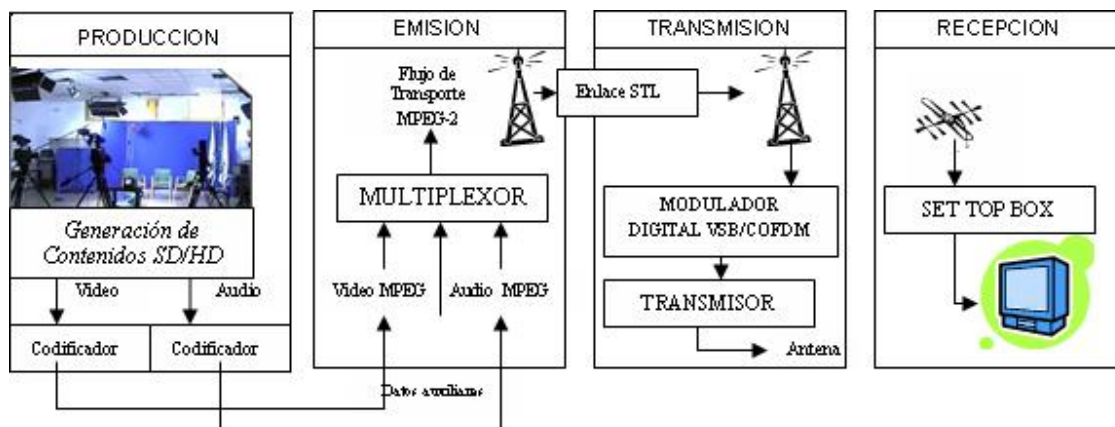


Figura 52. Red de Distribución de Televisión Digital

5.3 ETAPA DE PRODUCCIÓN

5.3.1 Descripción general. En el estudio de producción se generarán los contenidos audiovisuales en formato digital, las cámaras utilizadas serán digitales, o durante la etapa de transición se necesitarán conversores A/D que permitan la digitalización de la señal.

Los operadores tendrán la opción de elegir el formato de televisión (HDTV y/o SDTV), con cámaras propias del formato para la generación de contenidos. Esta

elección es un factor determinante para el período de transición encontrándose las siguientes opciones:

- Si el operador decide elegir el formato HDTV, es necesario que desde el comienzo se cambie todo el equipo de producción, pues el formato de la gran mayoría de las estaciones de producción de TV actuales es de definición estándar.
- Si se elige formato SDTV, el operador tendrá la posibilidad de seguir utilizando algunos equipos analógicos, de tal forma que las señales a transmitir correspondan a las versiones digitales de audio y video.

5.3.2 Descripción de los equipos necesarios.

- Cámaras Digitales o conversores analógicos a digital que permitan obtener señales de audio y video digitales (Los conversores A/D son una opción de implementación en el período de transición).
- Equipos para añadir títulos, comerciales, programas pregrabados y efectos especiales en el caso de video y equipos para audio digital tales como consolas mezcladoras, lectores de CD, registradoras de cinta y otros equipos de distribución.
- El enrutador y el switch de producción descritos en la primera sección de este capítulo, deberán ser reemplazados por sus equivalentes digitales.
- Equipos de producción de audio digital
- Codificadores de audio y video digital adaptados al formato específico del estándar adoptado.

La configuración física del centro de producción mantiene las mismas características que el equivalente analógico descrito en la sección 5.3.1. Para efectos de descripción de los equipos se va a dividir el centro de producción en dos sub - etapas:

- *Producción audiovisual.* Equivalente al set de grabación y a la sala de equipos en el sistema analógico. Los principales equipos aquí encontrados son:
 - Convertidores A/D PAL SDI Audio
 - Convertidores A/D NTSC
 - Cámaras digitales
 - Micrófonos de Sonido Envolverte
 - Equipos adicionales de producción de video y audio HD/SD
- *Control principal.* Equivalente al cuarto de control descrito en la sección 5.1.3, contiene el equipo de control y supervisión del programa al aire y su principal dispositivo es el *Switch de producción digital*. La salida del centro de control

corresponde a los datos de video y audio digitales que entran a los codificadores en la etapa de emisión.

La figura 53 muestra un diagrama funcional de la etapa de control principal, donde fuentes de alimentación local y remota, servidores de video y una entrada principal que puede ser SD o HD, alimentan el switch. Con esta entrada se selecciona la fuente del programa a transmitirse. La salida del Switch principal va a los codificadores de video y audio.

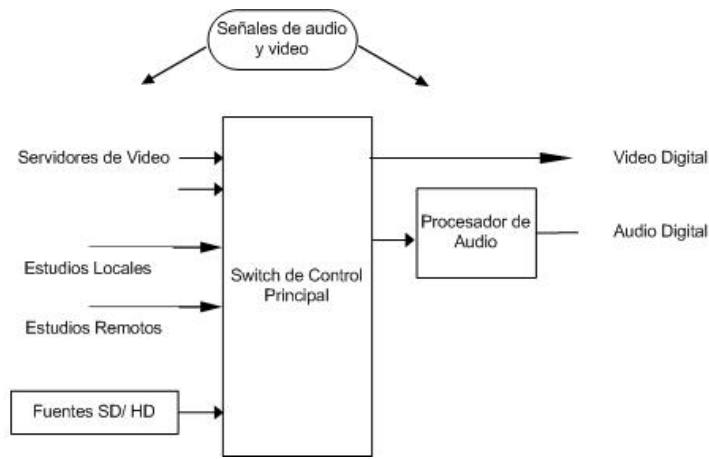




Figura 53. Switch de Control Principal

Los principales parámetros a tener en cuenta en los equipos de producción son el tipo de formato y la resolución de la imagen. En la tabla 31 se detallan algunas cámaras de DTV y su precio aproximado en el mercado (tasas correspondientes al 2007).



Tabla 31. Cámaras digitales disponibles en el mercado

Descripción del equipo	Característica	Precio aproximado	Imagen
Cámara Panasonic modelo AK-HC930	Formato HD/SD. Sistema de cámara	US\$70.000,00	
Cámara Panasonic modelo AK-HC931B	Formato Múltiple HD/SD Sistema de Cámara de estudio	US\$ 49.000,00	

Cámara Panasonic modelo AK-HC900	Relación de aspecto 16:9 Formato HD	US\$28.500,00	
Cámara Panasonic Modelo Panasonic AK-HC1500G HD	Cámara Multipropósito	US\$17.000	
HD Camcorder Marca Sony modelo HDW-F900	Cine Alta HD Cámara tipo Cine con HD	No disponible	


En la tabla 32 se describen dos ejemplos de equipos de audio digital necesario para la implementación de DTV.

Tabla 32. Dispositivos de Audio Digital

Descripción del equipo	Característica	Precio aproximado	Imagen
Grabadora con cuatro canales	Grabadora con 4 canales de 24-bits y 96KHz. Incluye trama. AES/EBU	\$1.999,00	
Mezclador de audio digital	Yamaha O3D .Consola Digital Mezcladora	\$1.850,00	

En el cuarto de control principal se encuentra el switch de producción y los enrutadores de video y audio. En la tabla 33 se describen los principales equipos que componen el control principal [63], [64], [65].

Tabla 33. Equipos del Control Principal

Descripción del equipo	Característica	Precio aproximado	Imagen
Switch de Producción Modelo FOR-A / HVS-500HS	Switch de video digital multiformato (HD/SD)	US\$15.900	

Switch de Producción Modelo SKU# EQ449050N	Switch de producción de video digital con formato HD/SD	US\$15.900	
Switch de Producción Modelo SKU# MO796967N	Switch de Producción y Mezclador Digital	US\$4.999	
Switch de Producción Modelo SKU# MO15129	Switch de Producción y Mezclador. Formato SD	US\$130.000	

5.4 ETAPA DE EMISIÓN

5.4.1 Descripción general. En esta etapa se codifican individualmente los flujos de video y audio y mediante el Multiplexor se combinan junto con los datos auxiliares en un solo flujo de transporte (TS), utilizando la norma para múltiplex, MPEG-2.

5.4.2 Descripción de los equipos necesarios. La compresión de video y de audio se realiza en codificadores de video y audio, respectivamente. Los tres estándares de TDT utilizan compresión de video MPEG-2, pero ya están incursionando en dispositivos decodificadores MPEG-4. Cada codificador produce un flujo de datos elemental que se combina en un solo flujo de programa en un multiplexor, cuya característica, depende de la cantidad de programas a transmitir sobre el canal, pues es el encargado de mezclar uno o varios programas HDTV y/o SDTV. Dependiendo del diseño del equipo, los multiplexores pueden ser dispositivos individuales o incorporados en una sola caja con el codificador de video. El codificador de audio de 5.1 canales, normalmente es un dispositivo aparte. El flujo de datos que sale del multiplexor a la torre de transmisión se envía mediante un enlace STL.

Las estaciones tendrán la posibilidad de transmitir uno o varios programas de DTV, caso en el cual, hay múltiples entradas de video y audio y los flujos de los programas individuales se combinan en un multiplexor final. En general, el número creciente de programas en un multiplexor resulta en una imagen de más baja calidad, dependiendo del formato de video empleado y el contenido del programa.

- *Equipos de datos auxiliares y complementarios.* Los equipos incluidos dentro de los datos complementarios pueden ser:

- Equipo de subtitulado
- Generadores EPG
- Equipos de difusión de datos


Dentro de los equipos disponibles en el mercado se encuentra el dispositivo de inserción de datos, con un costo cercano de US\$65.000 para el modelo Harris DataPlus y, el software de envío, administración y distribución de contenidos. Un ejemplo de este último es la plataforma Zband, que se encuentra alrededor de US\$70.000.

Adicionalmente en esta etapa están los equipos de transmisión del enlace STL: el transmisor digital, el filtro pasa banda, la línea de transmisión, y antenas de microonda.

Los principales equipos en la etapa de emisión son los compresores de video, audio y multiplexores. En la tabla 34 se muestra una lista de los dispositivos disponibles en el mercado.

Tabla 34. Equipos de la etapa de emisión.

Modelo	Característica	Precio aproximado	Imagen
E5710 MPEG-2 SD Encoder	Compresor de video MPEG-2 SD	No disponible	
E5780/E5782 MPEG-2 HD Encoders	Compresor de video MPEG-2 HD	No disponible	
E5720 MPEG-2 SD Encoder	Compresor de video MPEG-2 SD	No disponible	
SKU# EQ443346N	Codificador y Decodificador de video SD Stradis SDM290 MPEG-2	US\$3.590,00	
SKU# MO669402	Codificador de Audio marca SONY / BDKPE1002 Formato MPEG	US\$2.450,00	No disponible
SKU# MO671133	Codificador y decodificador MPEG de Audio con 8 canales	MSRP: \$7.000,00	No disponible
MX5210	Multiplexor para estándar DVB	No disponible	

SKU# MO666391	Compresor de video SONY / BDXM1000 y Multiplexor con 9 entradas MPEG Transporte Stream	US\$30.000,00	
SKU# MO669626	SONY / BDXM1000T : Video for Compression 9-input MPEG Transport Stream Multiplexer. 48V DC.	US\$44.300,00	No disponible

5.5 ETAPA DE TRANSMISIÓN

5.5.1 Descripción general. La señal que llega a la torre de transmisión es demodulada digitalmente en el receptor de microonda obteniéndose el flujo MPEG-2 que contiene la información de los programas. Esta salida se envía al transmisor de DTV en el cual está incluido el modulador, conocido como excitador 8-VSB o COFDM, dependiendo del estándar a implementar. En este equipo se realiza la codificación del canal y la modulación que convierte la señal en las bandas de VHF o UHF, la amplifica y transmite a través de la antena, por la cual se radiodifunde y una vez en el aire, la señal estará disponible para su recepción.

En las bandas UHF los transmisores de DTV transmiten a una potencia máxima de 5 KW (rms). Sin embargo algunos fabricantes pueden producir equipos de transmisión alrededor de 8 kW a 9 kW. Para la banda VHF se pueden producir equipos de transmisión con una potencia de 12 kW aproximadamente.






5.5.2 Descripción de los equipos necesarios. Los equipos que cumplen las funciones en esta etapa son:

- Equipo de recepción del enlace STL.
- Transmisores: Para su elección se deben considerar factores como ancho de banda de operación, tipo de modulación empleada, potencia de transmisión, linealidad y confiabilidad. Se consideran en este grupo, moduladores, codificadores de canal, amplificadores.
- Antena de transmisión. Para la transmisión de DTV se dispone de una variedad de antenas. Las antenas batwing o torniquete permiten operar de manera individual sobre múltiples canales.

Dentro de las antenas polarizadas horizontalmente para VHF y UHF están las antenas cilíndricas ranuradas y paneles extendidos (wraparound). Las antenas ranuradas (para VHF) están disponibles con patrones omnidireccionales y un número limitado de direccionales. En el caso de las antenas en los rangos UHF está disponible una amplia variedad de patrones de propagación en la dirección azimut.

La principal inversión que se debe realizar en la implementación de la TDT corresponde al Transmisor Digital, y su valor puede variar dependiendo de la potencia de transmisión y tipo de modulación que utilice, para un sistema de 400W como el transmisor Harris de la serie Ranger el valor esta alrededor de los US\$90.000. En la Tabla 35 se ilustran algunos transmisores de DTV disponibles en el mercado [66], [67], [68].

Tabla 35. Transmisores Disponibles en el Mercado

Descripción del equipo	Característica	Estándar	Precio aproximado	Imagen
EQ6800 QAM	Modulador QAM	DVB-T	No disponible	
MQ6800 QAM	Modulador QAM	DVB-T	No disponible	
Transmisor R&S® SV8000 Transmitter/Retransmitter	Transmisor de Baja Potencia	ATSC/DVB-T	No disponible	
R&S® NW8200 Transmisor para la banda VHF	Transmisor de Potencia Media	ATSC/DVB-T/DTMB	No disponible	
R&S® NV8600 Transmisor UHF	Transmisor de Alta Potencia			
Transmisor de la Serie Platino. Potencia de Transmisión de 1.5kW a 16kW.	Transmisor de Alta potencia	ATSC	No disponible	No disponible
Transmisor de la Serie Platinum. Banda VHF ATSC	Transmisor de baja potencia	ATSC	No disponible	No disponible

Transmisor en la banda UHF. Potencia de transmisión de 1.8 kW a 7.25 kW	Transmisor de Alta potencia	ATSC	No disponible	No disponible
Transmisor de la Serie Ranger. Banda UHF. Potencia de Transmisión 100 W a 1 kW	Transmisor digital para ATSC	ATSC	No disponible	No disponible
Transmisor Digital de la Serie Atlas DTV660. Potencia de Transmisión 100 mW a 500 W	Transmisor de Baja potencia	DVB-T/DVB-H	No disponible	No disponible
Transmisor digital de la Serie Atlas. Potencia 1,5 kW a 9 kW. Banda UHF	Transmisor adaptable a DVB-T/DVB-H	DVB-T/DVB-H	No disponible	No disponible
Transmisor digital de la Serie Atlas DTV660. Potencia de 750 W a 2,9 kW	Transmisor adaptable a DVB-T/DVB-H	DVB-T/DVB-H	No disponible	No disponible
Transmisor Digital de TV. Potencia de 1 kW a 5 kW	Transmisor DIGITAL DVB-T/ATSC	DVB-T/ATSC	No disponible	No disponible
Transmisor Digital de TV. Potencia. Banda UHF	Transmisor Digital	DVB-T/ATSC	No disponible	No disponible
Modulador de Frecuencia Intermedia DVM-1000/T	Modulador COFMD	DVB-T	No disponible	No disponible
Codificador y modulador de FI MPEG-2 DME-1000/T MPEG-2 E	Codificador y demodulador a FI COFDM	DVB-T	No disponible	No disponible
ATSC987 8-VSB (ATSC) Modulador FI	Modulador ATSC	ATSC	No disponible	No disponible

Como se puede observar en la tabla 35 la oferta de dispositivos para el estándar ISDB-T es muy escasa, colocándolo en desventaja con respecto a los otros dos estándares.

5.6 ETAPA DE RECEPCIÓN

5.6.1 Descripción general. La señal de DTV es recibida en los hogares usando cualquiera de las siguientes dos opciones:

- Mediante un televisor que tenga integrado un sintonizador digital (DTV integrado)

- Un monitor que pueda recibir la señal digital con una caja convertidora o Set Top Box (STB). Además de esto se requiere una antena, ya sea de techo o una más pequeña que se coloca sobre el televisor.

Durante el período de transición, una opción viable y asequible para los usuarios es continuar utilizando el televisor analógico para recibir las primeras transmisiones de televisión digital, con la adición del STB que permita decodificar la señal.

5.6.2 Descripción de los equipos necesarios. En el caso de las antenas de recepción, la señal de TDT puede ser recibida con la misma antena de la señal analógica.

Un buen receptor de TDT debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Sensibilidad del receptor.
- Tener funcionalidad para interactividad, esto es equivalente al 'teletexto' en los receptores analógicos, pero con funciones programables.
- Poseer canal de retorno, ya sea por conexión telefónica, Ethernet o wi-fi.
- Con posibilidad de adaptar nuevas funcionalidades como 'acceso condicional', en una tarjeta chip.

Los receptores disponibles en el mercado, se clasifican según el estándar y distribuidor, encontrándose gran variedad de STB y televisores Integrados.

En el mercado se encuentra gran variedad de STB, cuyo precio está relacionado con el estándar y con los servicios que ofrece el mismo. Para el caso de la norma ATSC, los valores de los STB que se encuentran en el mercado están alrededor US\$200. Para la norma europea la oferta de los STB es muy amplia ya que varía desde £25 a £180. En cuanto a la disponibilidad de los STB para la norma ISDB-T, ésta es muy escasa fuera de la región japonesa.

Los precios de los televisores integrados varían de acuerdo a las funciones y opciones para los usuarios, incluyendo formato, tecnología de visualización y tamaño de pantalla. Los televisores de pantalla plana son los más costosos y utilizan pantalla de cristal líquido o plasma. El tamaño de la pantalla se mide en forma diagonal: a mayor tamaño, mayor costo

Por ejemplo algunos televisores SONY con formatos HDTV pueden costar desde \$1.799,99 hasta \$3.099,99 en formato de 1080p y desde \$749,99 hasta \$1599,99 en formato de 720p. Los precios varían de acuerdo a características y funcionalidades, como la posibilidad de conversión de formatos HDTV, calidad de sonido y número de píxeles por pantalla. Todos estos televisores son de pantalla


plana. En la tabla 36 se pueden observar algunos ejemplos televisores proporcionados por SONY.





Tabla 36. Televisores Digitales Integrados

Marca SONY	Modelo	Características	Estándar	Precio
	KDL-40XBR5	Formato HD 1920 x 1080p, capacidad de entrada 1080/24p, sonido Dolby QAM	ATSC	\$3.099,99
	KDL-40XBR4	Formato HD 1920 x 1080p, sonido Dolby QAM	ATSC	\$2.799,99
	KDL-40V2500	Formato HD 1920 x 1080p, sonido Dolby AC3	ATSC	\$1.799,99
	KDL-40S3000	Formato HD 720p, resolución 1366 x 768, sonido Dolby AC3	ATSC	\$1.599,99

Receptores para ATSC. En la tabla 37 se pueden apreciar algunos STB disponibles en el mercado para la norma ATSC [69], [70].



Tabla 37. STB disponibles para ATSC

STB	Modelo	Características	Costo	Proveedores
	Coby DTV-140 ATSC	STB de alta definición	US\$97,99	Amazon

	Samsung DTBH260F	STB receptor con formato HDTV	US\$179,00	Amazon
	Tivax Digital TV Tuner	STB ATSC, HDTV	US\$159,00	Amazon
	STB Samsung DTBH260F	STB Caja decodificadora Terrestre. Alta definición	US\$ 179,99	Samsung
	Receptor Directv H20 DTV	STB Directv para recepción satélite y terrestre	US\$100 a US\$250	Mysimon

Receptores para DVB-T. En la tabla 38 se pueden apreciar algunos STB en Reino Unido, proporcionados por Freeview, servicio de televisión que permite tener canales extra a través de la antena aérea. Ofrece alrededor de 40 canales de televisión, libres de suscripción, sin contratos ni costos de instalación.



Tabla 38. STB disponibles para DVB-T

STB (Fotografía)	Modelo	Costo	Proveedores
 Con modulador y Grabadora en disco duro	BT Vision V-box	Gratis (como switch)	Clientes de BT Total Broadband
	Bush DFTA1001 Adaptor	£39,97 £39,99 £42,39 £49,99 £59 £45	Tesco Currys ASDA online Argos Great Universal Littlewoods Direct

 Grabadora en disco duro	Daewoo DSD9520	£114,28 £104,68	ASDA online Amazon Tesco.com
	Digifusion FRT101T	£69,99	Littlewoods Direct
	DigiFusion FRT102	£29,96	Bennetts Electrical
	Digifusion FRT103	£24,99	Argos
 Grabadora en disco duro	DigiFusion FVRT95	£99,99	Maplin
 Grabadora en disco duro	DigiFusion FVRT200	£162,53 £149,99	ASDA online Maplin Electronics
	Echostar T105 FTA Mediaguard	£58,22	Amazon
	Goodmans GDB3	£34,99	Argos
	Goodmans GDB6	£37,97 £79,99 £44,99	Tesco.com Comet Littlewoods Direct
	Goodmans GDVD305 DVBT	£129,99	Argos
 Grabadora en disco duro	Goodmans GHD8015F	£139,99	Argos
	Hitachi HDB65	£34,99	Argos

 Con modulador	Humax F2-FOX T	£59,99	Empire Direct
 Con modulador y Grabadora en disco duro	Humax PVR-9200TS (Plateado) PVR-9200TB (Negro)	£171,50 £175,05 £178,22 £179,40 £179,99 £186,53 £187,90	Martin Dawes Dixons Dabs.com 24-7 Electrical Comet ASDA online Tribal UK
 Grabadora en disco duro	I-Player 6640	£199	Webstore en simply.com
	JVC TU-DB1SK	£68,87	Bennetts Electrical
	Logik LDR1	£34,99	Dixons
	Logik Vesa / Tvonics MDR-200	£49,99	Dixons
	Logik LPV2250 / Tvonics DVR-250	£179,99	Currys
	Matsui DTR-3	£24,99	Dixons
	Panasonic DMRES20D	£147,97 £169,99	Currys Argos
 Con Grabadora en disco duro	Panasonic DMREX75	£249,97 £344,80 £399	Dixons 24-7 Electrical Great Universal
	Panasonic TUCT41	£69,99	Argos

	Philips DTR210	£35,28 £39,49 £39,49	ASDA online Argos Currys
	Philips DTR220	£30,04 £28,74 £34,99	Dixons ASDA online Argos
	Sagem ITD58NG	£24,99	Argos
	Sagem ITD61	£34,99	Argos
	Sagem ITD68	£49,99	Argos
 Grabadora de disco duro	Sagem PVR62160	£169,99	Argos
 Con Grabadora de disco duro	Sagem PVR6280T	£119,99 £152,56 £174,99	Argos Amazon.co.uk Empire Direct
	Sony RDR- GXD310	£229,99	Argos
	Sony RDR- HXD560	£329,99 £319,99 £349	Argos Play.com John Lewis
 Con Grabadora de video en disco duro	Sony RDR- HXD710	£378,95 £39,49 £39,49	Amazon Empire Direct Play.com
 Con Grabadora de video en disco duro	Sony SVR- S500	£173,72 £182,85 £199,99 £199,99 £218,97	ASDA online Tribal UK Amazon Empire Direct Bennetts Electrical
 Con Grabadora de video en disco duro	Thomson DTI 6300-16	£99,99	Empire Direct Argos Amazon

 <p>Con modulador y Grabadora en disco duro</p>	<p>Topfield TF5800PVR</p>	<p>£209,99 (Silver or Black) £259,95 £279,90 £349</p>	<p>Empire Direct Firebox Peter Tyson Empire Direct</p>
	<p>Wharfdale DV832B</p>	<p>£29,99</p>	<p>Argos</p>

Receptores para ISDB-T. El STB para el estándar Japonés fue adoptado en el mercado en diciembre de 2003. Actualmente, el mercado de este dispositivo se concentra en el país japonés consiguiéndose alrededor de ¥19800 [71]. El precio de los televisores HDTV se encuentra alrededor de US\$30 por pulgada, por ejemplo, un televisor LCD de 32' se encuentra desde US\$750.

6. EXPERIENCIA DE LA TDT EN EL MUNDO

Las primeras transmisiones de televisión digital se realizaron utilizando las plataformas satelital y cable, lo que indica que los inicios han sido con la televisión cerrada.

Esta innovación tecnológica en comunicaciones, interesó a las entidades políticas y de regulación interesándose en el desarrollo de nuevas estrategias para prestar un servicio de televisión digital terrestre no sólo en forma de televisión cerrada sino abierta, para llegar a la mayor parte de la población objetivo y no sólo a ciertas áreas.

Los estándares estudiados anteriormente, han sido desarrollados e implementados en sus países de origen, siendo la norma europea la de mayor acogida en diferentes países en el mundo, incluyendo la gran mayoría de los países europeos.

Los procesos de transición han implicado la definición del estándar en base a las opciones que ofrece la televisión digital. Estas opciones enmarcan las diferentes ventajas que presenta con respecto al sistema analógico y atractivos servicios para el usuario, y comprenden *multicasting*²³ y *datacasting*²⁴.

Se presentará un compendio del desarrollo de la televisión digital, iniciando con el estado de ésta en los países más representativos y la experiencia que han logrado al manejar este sistema de transmisión.

Las posibilidades de implementación de servicios interactivos dependen del modelo que desarrolle la industria de radiodifusores (*broadcaster*). La adopción del estándar en cada país en donde se ha realizado, ha sido una forma de proyección de la representación histórica y social desempeñada por la televisión abierta.

6.1 FACTORES QUE AFECTAN EL APAGÓN (*SWITCH-OFF*) ANALÓGICO

La decisión que cada país tome depende de una serie de factores, los cuales son descritos en la figura 54.

²³ Multicasting: transmisión de múltiples programas

²⁴ Datacasting: Transmisión de grandes volúmenes de datos junto con la señal de televisión

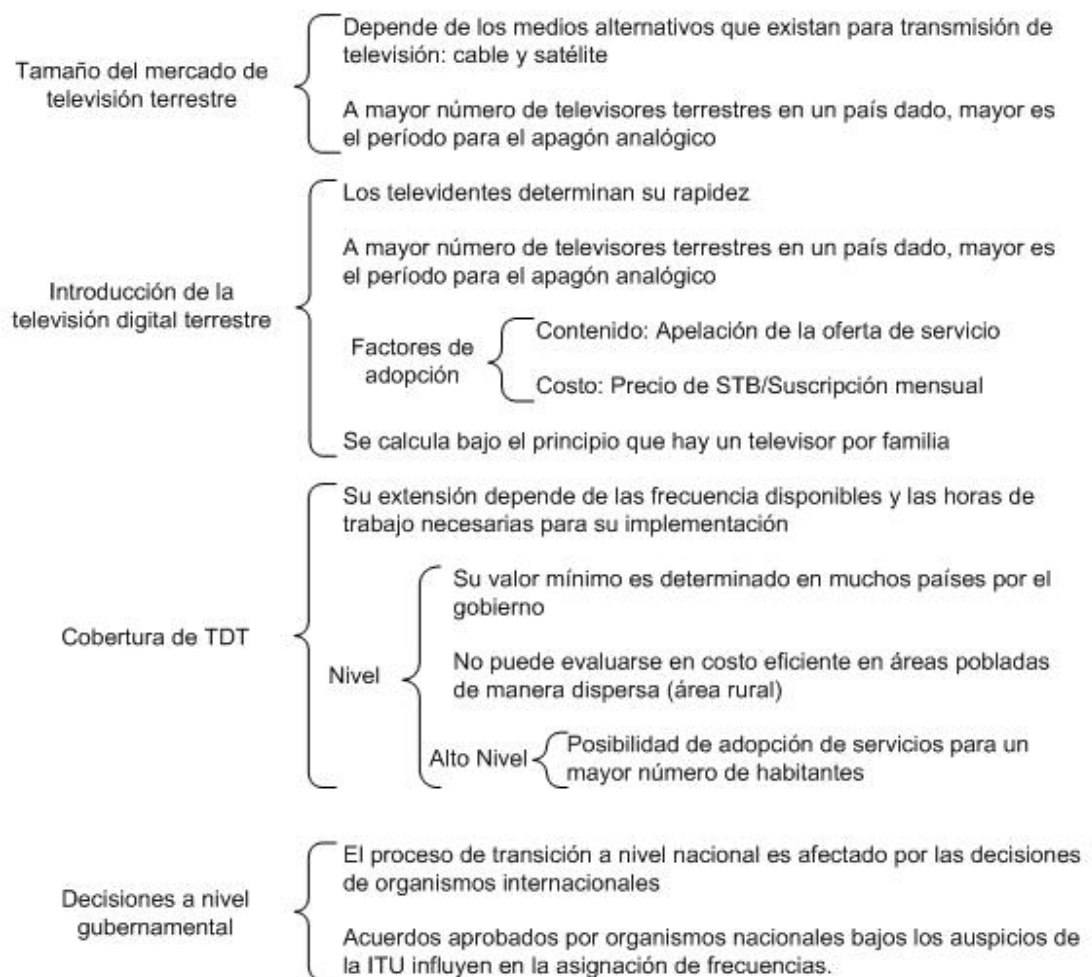


Figura 54. Factores que afectan el apagón analógico

Los niveles de cobertura de la TDT descritos en la figura 54, hacen referencia a la cantidad de población a la que llega la señal, el área que puede satisfacer el servicio, el alcance de los transmisores y las frecuencias disponibles para operación.

Las decisiones a nivel gubernamental varían y dependen del estándar que se haya desarrollado en su entorno, ya sea el caso de Europa, en donde las decisiones tomadas por los entes administrativos cambian de un país a otro.

En el nivel europeo, miembros de la Unión Europea (EU) necesitarán adherirse a sus directivas y completamente con las decisiones hechas por la Comisión Europea (EC). En la figura 55 se describe las funciones de la EU y el Acuerdo de Ginebra de 2006 para la implantación de TDT en el Continente [72].

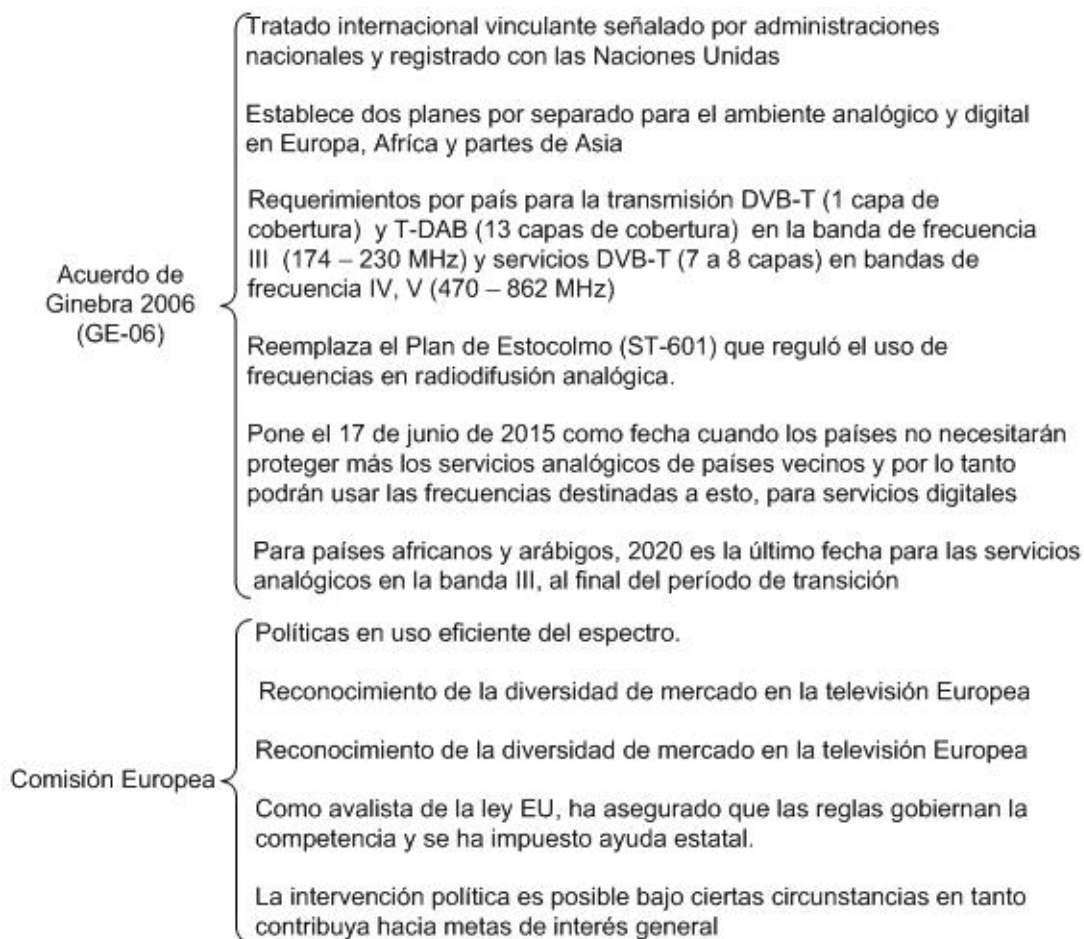


Figura 55. Acuerdos realizados en Europa

6.2 IMPLICACIONES DEL APAGÓN ANALÓGICO

El apagón analógico impactará toda la industria de radiodifusión, desde proveedores de servicio hasta televidentes. La clave será minimizar los costos del apagón analógico mientras se cosechan sus beneficios. Sus sucesos dependen de las decisiones de los entes involucrados en la cadena de valor de la televisión, gobierno, radiodifusores, operadores de red, fabricantes y televidentes. En la tabla 39 se describen las responsabilidades e implicaciones de las diferentes entidades con la adopción de la TDT [73].

Tabla 39. Responsabilidades e implicaciones de la TDT

	Responsabilidades	Implicaciones
Gobierno	Establecer la estructura legal para radiodifusión. Poner fecha para el apagón analógico	Puede beneficiarse con la posibilidad de generar ingresos de la venta o subasta de frecuencias disponibles Responsabilidad política que puede ser debilitada por los usuarios en caso de refutar el apagón analógico Puede encontrar necesario el apagón analógico, para fundar partes del proceso de transición. Tal fundamento podría requerirse para ayudar a televidentes, radiodifusores y/o operadores de red.
Radiodifusores	Fuertes proveedores de servicios de introducción de TDT. Deben asegurar que los usuarios continúen recibiendo sus servicios después del apagón analógico.	Introducción de más opciones de programación, servicios interactivos, movilidad, calidad mejorada de audio y video. Más ahorro en potencia transmitida. La competencia creciente puede diluir su participación en el mercado y dar lugar a una reducción en los ingresos por publicidad. Deben reducir sus costos de transmisión dado el alto costo de simulcasting (transmisión simultánea de tv analógica y digital). Se pueden beneficiar del apagón analógico si reducen sus costos de transmisión de televisión.
Operadores de Red	Manejo de la infraestructura de red terrestre. Asegurar extensión y cobertura del servicio mientras haya simulcasting.	Inversiones para mejorar y digitalizar la red, con buena planeación de tiempo y recursos. Con el apagón analógico perderán los ingresos generados de transmisiones analógicas, motivándolos para reutilizar frecuencias en nuevos servicios.
Fabricantes	Retos en la fabricación de STB con ciertas	Producir volúmenes de reserva en equipos con enfoque a la fecha del apagón analógico estipulado, y de

	especificaciones para diferentes países.	esta forma beneficiar a los usuarios. Retrasos en la coordinación de inicios de TDT genera costos de producción para los fabricantes, acumulando grandes volúmenes sin venta en el mercado. Escasez de producción puede llevar a retrasos en la agenda de planeación de TDT. Producción con volúmenes de reserva para las fechas del apagón tecnológico.
Televidentes	Compra de STBs o iTVs, de acuerdo con su capacidad económica	Costo de los conversores. En algunos casos, costo del cambio de antenas aéreas. Adopción de servicios alternativos de televisión donde no hay TDT. No hay conformidad universal por los servicios o por las inversiones que se deben tomar para realizar el apagón analógico.

6.3 EXPERIENCIA EN EL MUNDO

6.3.1 Europa. A pesar de que la norma europea fue desarrollada por los expertos de los diferentes países de Europa, su implantación ha tomado diferentes enfoques según las necesidades de cada país. El principal aspecto que han tenido en cuenta para la adopción del estándar es la compatibilidad con la norma analógica.

El enfoque (Tabla 40) usualmente se fundamenta en el usado para la inauguración de servicios TDT, en el cual los organizadores necesitan determinar la duración del período de *'simulcast'* cuando los servicios analógico y digital sean transmitidos a la vez. Aunque el costo de *simulcast* es alto, su duración será determinada por el número de familias que dependen de las transmisiones analógicas y la rapidez con que estas familias pueden cambiarse a un servicio de televisión alternativo [73].

Tabla 40. Enfoques de Adopción de TDT.

Enfoque	Características	
Proyecciones de TDT	Nacional de servicios de TDT	De Servicios de TDT
	Los organizadores	Iniciados con la existencia de

	proporcionan servicios para un máximo número de familias antes de comenzar el apagón analógico. Puede iniciar conforme a cómo los servicios de DTV reemplacen a los servicios terrestres analógicos	servicios analógicos por un corto período de tiempo (6 a 9 meses) hasta que se dé el apagón analógico y TDT (plataforma completa) sea inaugurada. Se usa cuando las frecuencias son escasas.
Retiro paulatino del corte de servicios analógicos	El apagón se da en un país dado por región. Agenda detallada de retiro de transmisores analógicos	
	Beneficios	Países
	Lecciones aprendidas en una región aplicables para mejorar el proceso en otra región Frecuencias liberadas pueden ser reutilizadas en una región para incrementar cobertura y expandir la oferta de servicio de TDT. Expansión de costo y esfuerzo de digitalización para los organizadores.	Suiza: en proceso Reino Unido España Francia Italia República Checa Alemania
Corte de servicios analógicos en la nación	Enfoque nacional Los servicios analógicos son finalizados al mismo tiempo en todo el país.	
	Beneficios	Países
	Permite a los televidentes beneficio simultáneo de las ventajas de la transición a digital. Igual acceso para todos los servicios	Probabilidades en: Finlandia Dinamarca
Clausura de servicios analógicos	Enfoque parcial Culminación de algunos servicios de televisión terrestre analógicos para disposición de frecuencias para inauguración de TDT.	
	Beneficio: Elimina la necesidad del período prolongado de simulcasting	Países: Suiza
	Desventaja: Los televidentes pierden acceso a algunos servicios terrestres hasta que sean restaurados en TDT.	

Los diferentes países han adoptado tres tipos de estado del anuncio de la fecha del apagón analógico:

- Obligatoria: estipulada por el gobierno y hecha obligatoria por ley
- Firmada: basada en consenso del gobierno y la industria y publicada con una estrategia o agenda para el proceso del apagón analógico
- Objetiva: basada en estimaciones anticipadas

En la tabla 41 se resume el calendario de transición para la implantación de TDT en los países de Europa.

Tabla 41. Fechas de transición de TDT en los países de Europa

País	Lanzamiento de TDT	Fecha del apagón	Estado del anuncio	Rango esperado
Suecia	1999	2008	Obligatoria	2006-2008
Finlandia	2001	2007	Obligatoria	
Alemania	2002	2009	Firmada	
Países Bajos	2003	2007	Firmada	
Bélgica	2002	2012	Objetiva	2009-2011
Suiza	2001	2008	Firmada	
Dinamarca	2006	2009	Obligatoria	
Austria	2006	2010	Firmada	
Noruega	2007	2009	Obligatoria	
Italia	2003	2012	Objetiva	2012-2015
Francia	2005	2011	Objetiva	
Grecia	2006	2012	Objetiva	
Reino Unido	1998	2012	Firmada	
España	2000	2010	Objetiva	
Malta	2005	2010	Objetiva	
Eslovenia	2006	2011	Objetiva	
Lituania	2006	2012	Objetiva	
Estonia	2006	2012	Objetiva	
República Checa	2005	2010	Objetiva	

6.3.2 Estados Unidos. En este país se ha desarrollado e implementado la norma ATSC para la transición a la DTV. El Congreso es la entidad que ha desempeñado el papel principal para el proceso de transición de televisión digital y el desarrollo del estándar ATSC. Entre las principales decisiones que ha tomado para la transición de TDT se encuentra.

- Estableció como fecha límite el año 2009 para transferir canales de radio frecuencia de radiodifusión a seguridad pública y a usuarios comerciales.
- Asignar la banda de 700 MHz para los radiodifusores a la cual deberán renunciar después, cuando cesen las transmisiones analógicas. Esta transición se ha pospuesto debido a que no hay un plazo límite.

Parámetros de Transición. La transición a televisión digital tiene dos componentes principales políticos: un conjunto de decisiones políticas está enfocado en cómo hacer la transición a la tecnología digital de una forma adecuada, tanto para radiodifusores de televisión como televidentes; y cómo asegurar el manejo y asignación del espectro de radiofrecuencia correctamente [73].

Las características de transición de TDT para Estados Unidos [74] se describen en la tabla 42 [75], [76].

Tabla 42. Características de transición de TDT en Estados Unidos

ORIGEN Y TRAYECTORIA	<ul style="list-style-type: none"> • Iniciado desde hace más de 10 años con la elección del estándar ATSC como norma para radiodifusión de TDT. • Inicialmente se restringieron las licencias de televisión a radiodifusores existentes. • Se le otorgaron a los radiodifusores nuevas licencias para canales de DTV mientras continuaba la radiodifusión en canales existentes durante el período de transición. Las antiguas licencias deberán ser devueltas al gobierno federal antes de la transición a DTV. • Inicialmente se estipuló el 31 de diciembre de 2006 como fecha del apagón analógico, pero a finales de este año solo se había cubierto el 85% de familias con disposición del STB, estableciéndose como nueva fecha límite en febrero de 2009.
IMPACTO EN RADIODIFUSIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Solo un pequeño porcentaje de los consumidores han obtenido los sintonizadores digitales. La gran mayoría de la comunidad estadounidense ha sido inconsciente con respecto al cambio de tecnología. • Cierta porcentaje de la población (13% a 19%, aproximadamente) depende exclusivamente de la radiodifusión terrestre. • Es probable que las familias de bajos recursos dependan de radiodifusión de televisión por aire.

ASPECTOS POLÍTICOS	<ul style="list-style-type: none"> • El gobierno ha proporcionado diferentes maneras de asistencia financiera (subsidios o créditos fiscales, por ejemplo) para habilitar el servicio por aire para familias al comprar cajas convertidoras o televisiones digitales, a familias de bajos recursos. • El Congreso legislará las estaciones de radiodifusión locales que recibirán el beneficio de “transporte dual” para clientes por cable, y el tiempo que utilizarán este beneficio.
REGULACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • El proceso de transición completo liberará hasta 60 MHz de espectro además de liberar el ya asignado para seguridad pública o venta de uso comercial. • Entre los usos propuestos para estos 60 MHz son: proporcionar espectro adicional para uso de seguridad pública; asignar espectro para uso sin licencia; y subastar licencias para canales. Se asume que el espectro brindará sumas significativas de la subasta y de esta forma menos espectro a subastar, podría significar procedimientos más bajos.
CONSTRUCCIÓN DE DTV	<p>Una construcción de red de televisión exitosa requiere:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de proveedores de contenido de programación digital convincente. • Envío de señales digitales a consumidores por estaciones de televisión de radiodifusión, como también sistemas de televisión por cable y satélite. • Amplia compra y adopción por consumidores de equipo de televisión digital.

6.3.3 Japón. En la tabla 43 se describen las principales características del estándar japonés [77].

Tabla 43. Características de Implementación en Japón

Televisión terrestre	NHK (Nippon Hoso Kiokay)	Dos redes televisivas terrestres y tres canales satelitales transmitidos simultáneamente en los sistemas analógico y digital
	NTV Nippon TV TVS Tokyo Broadcasting System Fuji TV TV Asahi TV Tokyo	Principales redes comerciales, que se conectan con redes propias a las estaciones regionales afiliadas, a las que transmiten sus propios programas por televisión abierta
Lanzamiento de TDT		Diciembre de 2000
Primera transmisión de TDT		Diciembre de 2003
Tipos de tecnología para servicios		HDTV

digitales	Transmisión de datos		
Transmisiones digitales en centros administrativos	Finales de 2006		
Fecha de inicio de transición	1999		
Ley de Televisión (Broadcast Law)	Ley principal que regula la actividad televisiva en Japón.		
Actividades legislativas para el desarrollo de TDT	Ley de medidas temporales de promoción de Transmisiones Televisivas Avanzadas. Ley de Radio y ayuda financiera para la transición.		
Emisiones HDTV	Japón, pionero de HDTV con una implementación analógica. Su antiguo sistema no es compatible con los estándares digitales.		
Fases de desarrollo de la TDT	Proceso	Ubicación geográfica	Fecha
	Pruebas	Kanto	2000
	Lanzamiento de un servicio digital terrestre completo	Regiones de mayor área geográfica: Kanto, Chukyo y Kinki	2002/2003
	Cobertura digital terrestre	Todo el territorio nacional	2005/2006

Dentro de las fechas más importantes en la transición de TDT en el Japón se pueden enunciar:

- El Ministerio de Gestión Pública y Asuntos de Correos y Telecomunicaciones han decidido conducir una serie de experimentos de transmisión desde la Torre de Tokio, divididos en tres fases:

Fase 1: noviembre de 1998 – marzo de 1999

Fase 2: Abril de 1999 – Marzo de 2000

Fase 3: abril de 2000 – marzo de 2002

- Se elaboró un plan para el desarrollo digital, en el cual se anunció que durante el período de transición, los programas serían transmitidos simultáneamente en analógico y digital.

- En 1998 se aprobó un plan de asignación de los canales.
- En el 2000, se publicó un plan de asignación de las frecuencias que estimaba el costo para la transición digital en 85,2 millones de yenes.
- En octubre de 2000 nació un consorcio en el que participan algunas de las mayores empresas electrónicas japonesas como Sony, Matsushita, Toshiba e Hitachi, para crear una serie de aparatos estandarizados de alta prestación, desde los televisores a los *set top boxes*; y preparar una amplia gama de servicios interactivos que serán ofrecidos a los hogares vía satélite.

6.3.4 México. En el año 2004 el Gobierno mexicano adoptó la norma ATSC para transmisión de TDT. En la tabla 44 se enuncia las principales características de los parámetros de DTV en este país [78], [79].

Tabla 44. Características de la TDT en México.

Estándar adoptado	ATSC
Fecha de adopción	2 de Julio de 2004
Pruebas de inicio	Estaciones experimentales transmitiendo con la norma ATSC
Formato de transmisión	HDTV
Expectativa	Servir como modelo para otros países latinoamericanos para adoptar como estándar de televisión, el ATSC
Plan de gobierno	Plazo de 18 años para implementación de TDT
Primeros servicios de televisión digital comercial	31 de diciembre de 2006, en México, Guadalajara y Monterrey, y algunas ciudades fronterizas con Estados Unidos
Procesos durante la transición	Asignación de canales adicionales para transmisiones digitales, así se tiene espectro disponible para cumplir con los objetivos políticos de la transición

El plazo de implementación, está dividido en seis etapas [79], empezando en el 2006, como se muestra en la tabla 45. Sin embargo, no se tiene una fecha bien definida para la devolución de frecuencias analógicas.

Tabla 45. Cronograma de Transición de TDT en México

Fecha	Señales digitales en áreas de cobertura				
	Ciudades importantes	1'500.000 habitantes	1'000.000 habitantes	500.000 habitantes	150.000 habitantes
05/07/2004 a 31/12/2006	al menos dos señales				
01/01/2007 a 31/12/2009	Reproducción digital	comerciales			
01/01/2010 a 31/12/ 2012	Reproducción digital				
		No comerciales	Comerciales		
01/01/2013 a 31/12/2015	Reproducción digital				
			No comerciales	Comerciales	
01/01/2016 a 31/12/2018	Reproducción digital				
				No comerciales	comerciales
01/01/2019 a 31/12/2021	Reproducción digital de todos los canales analógicos en todas las zonas de cobertura				

6.3.5 Taiwan. Taiwan ha sido uno de los pocos países que seleccionó la norma europea con su extensión a 6 MHz. Entre las principales características de la transición de TDT en Taiwan se encuentran:

- La norma analógica utilizada fue NTSC, y su principal parámetro de decisión fue conservar el ancho de banda de 6 MHz.
- El gobierno de Taiwan redefinirá sus frecuencias analógicas en 2010. Esto permitirá la completa implementación de DTV, según oficiales del Consejo para Desarrollo y Planificación Económica (CEPD).
- 14 canales de DTV han sido transmitidos desde julio de 2004. Además el gobierno realizó un cronograma para la completa digitalización de televisión en su proyecto "Taiwan digital" el cual es parte de su plan de desarrollo nacional "Desafío 2008".

En la tabla 46 se describen las fechas importantes en cuanto a la transición analógica digital [80].

Tabla 46. Fechas de transición de TDT en Taiwan

Prueba piloto	2001
Legislación en el país	2001
Lanzamiento parcial	2004
Lanzamiento total	2005
Apagón analógico	2010 Taiwan CEPD Jan06

En la tabla 47 se observan las características de servicio de TDT en Taiwan.

Tabla 47. Características de la TDT en Taiwan

Parámetros de DVB-T para Taiwan	
Multiplexores	5 en operación a julio de 2006
Bandas operacionales	Sólo UHF
Tipo de portadora	8k
Intervalo de guarda	1/8
FEC	1/2 principalmente, también 3/4
Modulación	16-QAM
Modelo de Recepción	Libre, paga y móvil
MFN y SFN	Redes de múltiple y una sola frecuencias SFN
Máxima ERP del transmisor	5 kW, a veces 3 kW
Ancho de banda del canal	6 MHz
HDTV	Red a finales de 2007
DVB-H	Prueba fundamentada en PTS

6.3.6. Brasil. En Junio de 2006, Brasil eligió el sistema japonés como estándar base para la transmisión de TDT. Las características del estándar de TDT adoptado en Brasil se encuentran resumidas en la Tabla 48.

Tabla 48. Características de la TDT en Brasil

Estándar Adoptado	Brasil Eligió el estándar ISDB-T par transmisión de TDT , con una adaptación a la tecnología del propio país, y fue nombrado SBTVD-T (<i>Sistema Brasileiro de Televisão Digital-Terrestre</i>)
Origen	Adoptado el 29 de junio del año 2006, por decisión del gobierno brasilero
Estándar Base de Estudio	El estándar base fue el ISDB-T imponiéndose sobre ATSC y el DVB-T, principalmente debido a características técnicas claramente superiores, pero también con una mirada hacia los futuros modelos predominantes de negocio que pueden desarrollarse durante el proceso [81].

Características Específicas	El estándar brasileiro está basado en la norma japonesa con una modificación en la codificación de video, ya que ISDB-T utiliza MPEG-2, mientras que SBTVD-T utiliza una codificación H.264 (MPEG-4), las demás características del estándar japonés se mantienen entre las cuales se encuentra la utilización de 6MHz para el ancho de banda. SBTVD-T ofrece las mismas ventajas que el estándar japonés entre las cuales están recepción portátil y móvil utilizando los servicios de banda segmentada
Finalidades para la selección del estándar	El gobierno brasileiro se basó en los siguientes objetivos con el fin de seleccionar el estándar. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Flexibilidad de modelos de explotación: viabilizar la transición del sistema analógico al digital y modelos de servicios adecuados a la realidad económica y empresarial del país. ▪ Utilizar la plataforma de radiodifusión como instrumento de inclusión social y de promoción de la diversidad cultural y regional; perfeccionando el uso del espectro
Fecha programada para el apagón analógico	En el decreto del gobierno brasileiro se anuncia que SBTVD se pondrá en ejecución completamente antes de 2016
Adquisición de STB	La decisión de Brasil al adoptar esta norma tendrá gran impacto en el mercado latinoamericano, ya que este país ha elegido fabricar sus propios decodificadores con el fin de que se encuentren al alcance de la clase popular y trabajadora. Según el Ministerio Brasileiro tendrán un costo inicial de 35 y 50 dólares.
Observaciones Adicionales	La norma japonesa no ha sido aceptada unánimemente por los radiodifusores brasileiros
Calendario de Transición	Las siguientes son las fechas programadas para el período de transición en Brasil: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 29 de Junio de 2006: Elección del Estándar ▪ 29 de Diciembre de 2006: Conclusiones de las especificaciones técnicas ▪ 03 de Diciembre de 2007: Inicio de la transmisión digital en el área de Sao Paulo ▪ 31 de Diciembre de 2007: Transmisión digital disponible en todas las capitales. ▪ 31 de Diciembre de 2013: Transmisión digital disponible en todo los municipios ▪ 29 de Junio de 2016: Fin de la Transmisión analógica [82].

6.3.7 Situación en Latinoamérica. A diferencia de los lugares en que se desarrollaron cada uno de los estándares, en América Latina, se ha decidido adoptar uno de los estándares de televisión digital con base en estudios técnicos, económicos, sociales y de regulación. Algunos países latinos ya han tomado la decisión de adoptar un estándar; la gran mayoría de los países latinos, está en el proceso de estudio para la selección del estándar determinado, en donde se están efectuando diferentes análisis y mediciones [83].

En la tabla 49 se describe el estado actual del proceso de adopción del estándar de TDT en América Latina.

Tabla 49. Estado actual de la TDT en América Latina.

País	Organismo responsable	Estado	Estándar Adoptado	Fecha de decisión	Lanzamiento de Transmisiones
México	Comité Consultivo entre la secretaría de comunicaciones y transporte. Cámara Nacional de industria de radio y televisión	Estándar adoptado	ATSC	2 de Julio de 2004	2006
Brasil	Casa Civil (Ministerio del Interior)	Estándar Adoptado	ISDB-T con una modificación en la codificación de video	29 de Junio de 2006	Diciembre de 2007
Honduras	Comisión Nacional de Telecomunicaciones	Estándar Adoptado	ATSC	16 de Enero de 2007	Sin Definir
Argentina	Comisión de Estudio y Análisis de Televisión Digital	En proceso	No definido	No definida	Transmisiones experimentales
Chile	Consejo Nacional de Televisión	En proceso	No definido	No definido	Transmisiones experimentales
Uruguay	Comisión Nacional	Estándar	DVB-T,	Agosto	Transmisiones

	de Televisión Digital	Adoptado	DVB-H	2007	s experimentales
Colombia	Comisión Nacional de Televisión	En proceso	No definido	Marzo de 2008	Transmisiones experimentales

6.4 OBSERVACIONES

El estudio realizado en diferentes partes del mundo sobre el estado actual de la televisión digital, sirve como punto de partida para comparar las tecnologías que ofrecen los estándares para la transmisión de la señal televisiva. En cada lugar se ha tenido una perspectiva diferente en cuanto la adopción de nueva tecnología para transmitir señales televisivas y la principal ha sido la de conservar la compatibilidad con el estándar analógico existente.

Sirve de ejemplo analizar el estado de los países en donde se originó la tecnología de DTV, para analizar las decisiones tomadas y tomar algunos patrones respecto a las tecnologías implicadas en el estándar propio. Así mismo, se describió de forma breve el estado de la TDT en países como México, Brasil y Taiwan, ya que estos han adoptado una norma diferente de TDT (ATSC, ISDB-T y DVB-T, respectivamente) pero partiendo de la norma analógica NTSC con un ancho de banda de 6MHz. Esta consideración es un importante ítem para la decisión del estándar de TDT en Colombia.

7. TELEVISIÓN DIGITAL: TRANSICIÓN EN COLOMBIA

7.1 TELEVISIÓN ANALÓGICA EN COLOMBIA

La televisión es el medio de comunicación de mayor penetración en la sociedad colombiana, ya que educa, entretiene e informa. Desde el año de 1978, Colombia adoptó el formato de Televisión analógica a color NTSC, cuyas características técnicas fueron descritas en el primer capítulo de este documento. NTSC es el sistema de codificación y transmisión de televisión analógica, usado en Canadá, Japón, Corea del Sur y Estados Unidos, entre otros países, principalmente en América. El estándar fue definido con el decreto 2272 de 1978.

NTSC utiliza las bandas UHF y VHF para la distribución del servicio de televisión en Colombia ocupando un ancho de banda de 6 MHz. La distribución del espectro para radiodifusión terrestre de televisión en Colombia se observa en el anexo B de este documento.

Actualmente los canales privados RCN y Caracol logran un cubrimiento superior al 85% con una totalidad de 116 estaciones mientras que el cubrimiento de los canales regionales es del 76,3% con una totalidad de 165 estaciones. El servicio de televisión tiene una cobertura que supera el 90% de la población [84].

Según datos proporcionados por la Comisión Nacional de Televisión (CNTV), la televisión es el principal medio de comunicación e información de los televidentes colombianos:

- 92% de los hogares tienen un televisor
- 70% de los hogares tienen dos o más televisores
- El televisor es el segundo electrodoméstico que se compra en los hogares colombianos, sólo es superado por la estufa.

El servicio de TV en Colombia está descrito en la Ley 182 de 1995 según los siguientes criterios:

- Tecnología principal de transmisión
- Usuarios del servicio
- Orientación general de la programación emitida
- Niveles de cubrimiento del servicios

La clasificación más común utilizada es mediante la tecnología principal de transmisión que divide el servicio en:

- Televisión abierta: La señal de TV se radiodifunde a través del espectro, sin necesidad de guía artificial
- Televisión cerrada: La señal llega al televidente mediante un medio físico de distribución, ya sea por cable o satélite.

La televisión abierta está compuesta por los canales privados nacionales (RCN, Caracol), los canales públicos nacionales (Canal Uno, Canal Institucional y Señal Colombia), 8 canales regionales y uno local (City TV) [85], [85].

Con el ingreso de la tecnología digital, la CNTV se enfrenta a un gran cambio, al migrar de la tecnología analógica a la digital para la transmisión de la señal de televisión. Quizás una de las mayores consideraciones al seleccionar el estándar de Televisión Digital para Colombia es la adaptabilidad que tenga con la tecnología actual, de tal forma que por un período de tiempo convivan las dos tecnologías.

Según la CNTV “La televisión no sólo es un servicio de telecomunicaciones sino también forma parte de las industrias culturales, constituye una cadena de creación, de información, entretenimiento y cultura, generalmente protegidos por derechos de autor”²⁵. Uno de los principales propósitos del Ministerio de Comunicaciones con la incursión de la DTV es fomentar la industria de contenidos televisivos colombianos referente a educación e información, de tal forma que llegue a todos los lugares de la población colombiana y a todos los niveles económicos.

7.2 ENTES REGULATORIOS DE LA TELEVISIÓN EN COLOMBIA

7.2.1 Ministerio de Comunicaciones. Es el ente que regula, direcciona, reglamenta y representa el sector de las comunicaciones y de tecnologías de información, promueve el desarrollo social y económico de la nación, ejerciendo una administración y control del espectro radioeléctrico. Para el período de transición de la TDT en Colombia, será el encargado de la regulación del espectro y reasignación de frecuencias para nuevos servicios.

7.2.2 Comisión Nacional de Televisión. La CNTV fue definida en la Constitución de 1991 por el gobierno nacional, como la principal autoridad de la TV en Colombia, encargada de planear, dirigir y desarrollar las políticas en el área de la televisión. Para el plan de transición a la tecnología digital, la CNTV se está encargando de gestionar los estudios técnicos y económicos para la selección del estándar e implantación del servicio de TDT.

7.2.3 Comisión de Regulación de Telecomunicaciones CRT. La CRT es el ente regulador del mercado de las telecomunicaciones en Colombia cuyo propósito es

²⁵ Comisión Nacional de Televisión, Informe Sectorial de Televisión. 2005

promover la prestación efectiva de los servicios de telecomunicaciones a todos los usuarios.

7.2.4 Radio Televisión Nacional de Colombia RTVC. RTVC es la compañía de radio y televisión pública en el área de la programación educativa y cultural. Tiene el propósito de entretener, educar y dar acceso a la cultura.

7.3 ESTADO ACTUAL DE LA TDT EN COLOMBIA

La inclusión de la televisión digital en Colombia ha sido un tema de gran acogida en los últimos años [87]. Entre los documentos que se pueden destacar con respecto al estado actual de la TDT en Colombia se encuentran:

- *ACIEM, Asociación Colombiana de Ingenieros.* Recomendaciones para la implementación de televisión digital terrestre en Colombia. Publicado en Septiembre de 2006. En este documento la ACIEM especifica la importancia de definir un cronograma para la implementación de la TDT en Colombia, haciendo una breve descripción de los estándares actuales de la TDT [88].
- *Comisión Nacional de Televisión.* Respuesta Proposición 21 de 2006. Publicado en diciembre de 2006. Este documento especifica el estado de los procesos investigativos para la determinación del estándar de TDT y un breve análisis económico de los niveles socioeconómicos de los hogares colombianos, para la posible adopción del receptor de TDT (Caja decodificadora) [89].
- *Comisión Nacional de Televisión.* La Televisión Digital en el marco internacional y sus avances en Colombia. Publicado por la Revista Nacional de Telecomunicaciones de la CINTEL²⁶ en marzo de 2007, describe el estado de la televisión actual en Colombia y los requisitos para la adopción del estándar de TDT en Colombia.
- *Andrés Reyes.* Profesional de Proyectos CINTEL. Visión Técnica de la DTV. Presenta una breve descripción técnica de los estándares actuales de transmisión de TDT.
- *Ministerio de Comunicaciones.* Contratación directa No 021 de 2007. En este documento se presenta la convocatoria con respecto al estudio económico para la implantación de TDT en Colombia.

En común estos documentos muestran la necesidad de realizar un estudio de los todos los requisitos necesarios para seleccionar el mejor estándar de TDT. De tal forma que se realice un estudio completo de los tres estándares actuales de transmisión, ATSC, DVB-T e ISDB-T. Para la realización se ha convocado a todas

²⁶ CINTEL. Centro de Investigación en las Telecomunicaciones

las entidades involucradas en la determinación del estándar: Gobierno, Congreso, Sector Privado y Academia.

7.4 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL ESTÁNDAR

Los cambios que se realicen en la tecnología deben favorecer y soportar el balance económico del país, sin que cause un déficit económico ni tampoco un atraso en desarrollo. La televisión digital en el país abrirá nuevos horizontes y fortalecerá el sector de las telecomunicaciones además de incrementar el progreso tecnológico de la nación abriendo caminos para un mejor futuro y convergencia en las tecnologías de la información, permitiendo

Según criterios de expertos en el tema de televisión, los aspectos más importantes para la selección del estándar de televisión digital en Colombia, son: aspectos económicos, aspectos sociales, aspectos técnicos y aspectos de regulación o legislación [89].

- En los aspectos económicos se debe tener en cuenta la situación de la población que será beneficiada con este nuevo servicio, cuál es la mejor opción para mantener la compatibilidad con el estándar de televisión analógico actual (NTSC), cuáles son los beneficios que traerá para las empresas involucradas en el sector, es decir, fabricantes, patrocinadores, publicidad, radiodifusoras, entre otras, analizar y evaluar qué riesgos se pueden presentar. Dentro de estos aspectos se debe revisar el proceso de transición analógica digital, el análisis costo-beneficio de los equipos necesarios tanto para la transmisión y recepción, cuál es la mejor opción en la adquisición, evaluar diferentes alternativas para la adquisición de tecnología adecuada y su impacto en la cadena del valor del sector.
- Los aspectos sociales tienen que ver con los contenidos que serán transmitidos por las diferentes radiodifusoras a la población, se busca que se siga manteniendo la diversidad en el medio televisivo y fomentar sectores importantes como la educación, el arte, la cultura, la salud. También incluyen la disponibilidad del servicio para los sectores de menos recursos y más alejados de la civilización, donde actualmente la señal de TV analógica no llega.
- Los aspectos de regulación comprenden la planificación del espectro radioeléctrico y la reasignación de frecuencias, manteniendo y mejorando la calidad que hasta ahora se ha brindado a todos los beneficiarios de este servicio masivo. Al tener un nuevo sistema de televisión surgirán nuevas normas tanto para los operadores directos del servicio (radiodifusores) como para todos aquellos que participan de este servicio. Estas normas deberán ser claras tanto para los operadores existentes como para aquellos que quieran vincularse.
- Los aspectos técnicos enmarcan la tecnología más conveniente para que el servicio de televisión digital sea confiable y tenga una amplia cobertura para la

población que será beneficiada, teniendo en cuenta la geografía, y otras necesidades. Se debe analizar cuál de los estándares presenta más convergencia con el estándar actual tecnológico en cuanto a los equipos necesarios, y los formatos de transmisión, cuál estándar se adapta de mejor manera a la geografía del país, teniendo en cuenta potencia y área de cobertura.

En la implantación de TDT, la inversión adicional que deberán hacer los productores y usuarios se debe ver reflejada fundamentalmente en dos aspectos: para los productores nuevas posibilidades de mercados y servicios que les permitan recuperar la inversión con mayores ventas o nuevos ingresos y en cuanto a los usuarios, debe traducirse en beneficios tangibles.

7.5 PROCESO DE ADOPCIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL EN COLOMBIA

El ministerio de Comunicaciones contempla dentro del “Plan de Gobierno en TICs 2006-2010” [90], la definición del Modelo de estándar de televisión digital terrestre. La fecha programada para la toma de decisión es marzo de 2008.

La CNTV se encuentra en una etapa de grandes cambios y proyectos con respecto al Plan Nacional de Desarrollo, entre los cuales se encuentra la elección e implantación de la TDT en Colombia y la creación de un nuevo operador privado.

La CNTV ya ha trazado los principios para la adopción del estándar de TDT entre los cuales están:

- En marzo del año 2008 se definirá el estándar de TDT que adoptará Colombia.
- La norma a elegir debe ser principalmente para televisión abierta, libre y gratuita.
- El período de transición para el cese de transmisiones de TV analógica será de 10 años.
- Las Redes de Televisión públicas serán financiadas por la CNTV, mientras que las privadas deberán asumir los costos para el cambio de infraestructura.
- En Junio de 2006 los operadores de Caracol, RCN, RCTV en conjunto con la CNTV, comenzaron las pruebas con los estándares ATSC y DVB-T en la estación de Calatrava ubicada en el cerro de Suba cerca de la ciudad de Bogotá. Las pruebas con el estándar ISDB-T no comenzaron debido a la falta de tecnología, en ese entonces.
- Las pruebas para el estándar japonés se tienen previstas para noviembre de 2007.

- Se ha elegido la ciudad de Pereira desde el punto de vista técnico, como otro punto estratégico de la geografía colombiana para la realización de pruebas con este estándar.

Dentro del trabajo realizado por la CNTV para la implementación de televisión digital en Colombia se encuentra el proyecto “PLAN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SERVICIO DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRENAL EN COLOMBIA” [91], determinado mediante la Junta Directiva 1226 Numeral 11 del 23 de Febrero de 2006, el cual contempla en sus objetivos específicos:

- Realizar un estudio profundo de los estándares digitales más reconocidos a nivel mundial, y efectuar comparaciones técnicas para determinar las ventajas y desventajas entre los estándares.
- Conformar comités de estudio compuestos por operadores, fabricantes, proveedores etc., con el fin de establecer parámetros técnicos a tener en cuenta en el país.
- Determinar el período de transición para la implementación del formato seleccionado.
- Elaborar un Plan de Frecuencias para la asignación de Televisión Digital Terrenal a implementar en el país.
- Realizar demostraciones y pruebas de propagación bajo diferentes situaciones operativas.
- Establecer los aspectos que se deben tener en cuenta para la elaboración de la regulación nacional que permita la implementación de la televisión digital terrenal y la posible modificación de la regulación actual.

Para el desarrollo de estos objetivos propuestos se han establecido contactos con los diferentes organismos que representan cada uno de los estándares en estudio, programando las pruebas para cada uno de ellos.

7.6 CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA SELECCIÓN DEL ESTÁNDAR

7.6.1 Descripción de los criterios. Como se ha enunciado, los factores técnicos son los principales criterios a tener en cuenta para la elección de un estándar de transmisión de TDT, y aunque no son los únicos, se debe partir de un buen análisis de los mismos para reconcluir acerca del desempeño que presentará la tecnología en un entorno como el de nuestro país.

Derivados de la información recopilada en el desarrollo de este estudio y teniendo en cuenta los objetivos y finalidades de la CNTV para la adopción de la TDT en Colombia y la experiencia que otros países han tenido para la implantación de TV digital, se proponen los siguientes factores para la determinación del estándar en el país.

1. Aspectos técnicos: entre los más importantes se encuentran:

- Cobertura de la señal transmitida
- Niveles de potencia
- Capacidad de carga útil (ancho de banda, capacidad del canal, velocidad de transmisión)

- Movilidad
- Inmunidad a interferencia
- Flexibilidad: Comportamiento del estándar en diferentes escenarios (SFN y MFN).

- Compatibilidad con sistemas por cable y/o satélite.
- Transmisión de programas televisivos de alta definición (HDTV) y multicasting de programación televisiva de definición estándar (SDTV).

- Pruebas y mediciones con cada uno de los tres estándares.
- El estándar debe ofrecer televisión abierta, libre y gratuita.

2. Evolución tecnológica de los equipos de distribución y recepción

- Disponibilidad en el mercado de los dispositivos de generación y distribución de la señal de TDT, de tal forma que se aprovechen las economías de escala en la manufactura de equipos.

- El receptor debe ser asequible al precio de los usuarios.

3. Características de Regulación y asignación de frecuencias para la transmisión de la señal de TDT. El estándar de transmisión actual NTSC utiliza una banda de 6 MHz, con un canal de guarda adicional, utilizando una totalidad de 12 MHz. La idea principal para la implementación de TDT es utilizar la banda de guarda al comenzar las transmisiones.

7.6.2 Análisis de los criterios. Cada estándar presenta características específicas que lo pueden hacer ventajoso o desventajoso con respecto a los demás, dependiendo del factor o criterio que se esté teniendo en cuenta. En la tabla 1 se describe el análisis de cada uno de los criterios enunciados en la sección anterior

Tabla 50. Análisis de los criterios para la selección del estándar en Colombia

CRITERIO	ANÁLISIS	CONCLUSIÓN
Cobertura de la señal transmitida y nivel de potencia	Relacionados con el proceso de modulación que emplea cada norma. La modulación 8-VSB logra mayor cubrimiento con menor potencia en zonas abiertas, mientras que la modulación COFDM tiene mayor inmunidad a propagación multitrayectoria.	Aplicado a la geografía colombiana, el estándar ATSC sería ideal para zonas abiertas como la región de los Llanos Orientales, donde la señal de televisión tiene poca cobertura, mientras que el estándar europeo es el que más se acomoda a una geografía montañosa como lo es gran parte del territorio nacional.
Ancho de banda y capacidad del canal	Los tres estándares se encuentran en la capacidad de transmitir datos a altas velocidades en canales de 6MHz, siendo la norma europea la que utiliza tasas de datos más rápidas. Adicionalmente, DVB-T es la norma que tiene extensión para trabajar con anchos de banda de 7 y 8MHz.	La norma europea es que presenta mayor desempeño en tasas de transmisión.
Recepción Móvil	Actualmente el estándar americano ha iniciado los estudios para recepción y terminales móviles y portátiles, pero aún no ha sido implementado. El estándar europeo ha desarrollado una norma independiente (DVB-H) para la recepción móvil compatible con la norma terrestre. El estándar japonés incorpora dentro de sus servicios transmisión y recepción móvil y portátil, presentando un buen desempeño.	El estándar ISDB-T es el que mejor se adapta al requerimiento de recepción portátil y móvil.
Inmunidad a interferencia	El esquema de modulación OFDM utilizado por los estándares DVB-T e ISDB-T presenta mayor inmunidad a interferencia.	Debido al sistema de modulación que utiliza, el estándar europeo es el más ventajoso al evaluar la inmunidad a interferencia
Flexibilidad	La técnica de multiplexación permite una asignación dinámica del ancho de banda de acuerdo con la necesidad de los servicios proporcionados por el operador del canal. DVB-T permite transmisión de múltiples programas.	La norma japonesa es que presenta mayor flexibilidad por la gamma de servicios que ofrece, alta definición, definición estándar, movilidad y portabilidad.

	De manera paralela, ISDB-T ofrece gran flexibilidad, pues cuenta con una gama completa de servicios en un mismo ancho de banda.	
Compatibilidad con sistemas por cable y/o satélite	En Europa las primeras transmisiones de televisión digital se realizaron utilizando redes cableadas y dispositivos satelitales. Estos fueron los impulsores de la utilización de la plataforma terrestre, prosiguiendo la transmisión de televisión a través de los tres medios. En Japón se mantienen servicios satelitales y por cable en coexistencia con los terrestres.	La norma europea es la que presenta mayor compatibilidad con los sistemas de cable y/o satélite.
Transmisión de programas televisivos de alta definición (HDTV) y multicasting (SDTV)	La tecnología europea permite transmisión de múltiples programas en formato estándar. Los objetivos principales de los estándares japonés y americano era transmitir alta definición, aunque permiten transmitir varios programas en formato SDTV.	Los tres estándares permiten la transmisión de señales tanto en formato HDTV como SDTV. En el caso de la norma DVB-T, al utilizar mayor ancho de banda, permite transmitir mayor número de canales SDTV (hasta cinco)
Pruebas y mediciones	Los equipos a tener en cuenta para la medición de pruebas, se seleccionan de acuerdo con el estándar y características importantes que tienen que ver con el formato de exploración utilizado en el escenario analógico	Hasta ahora se han hecho pruebas con los estándares ATSC y DVB-T, y según la CNTV, ambos presentaron buenos resultados en cuanto desempeño. Las pruebas con el estándar japonés están programadas para finales de 2007. Este factor es de gran importancia para la selección del estándar de TDT.
Estándar abierto y gratuito	Los tres estándares proporcionan libre acceso, ya que las señales terrestres hacen uso de las bandas libres, sin un cargo fijo para el usuario.	ATSC, DVB-T e ISDB-T cumplen con este objetivo.
Disponibilidad en el mercado de equipos de distribución	Para los estándares americano y europeo, existe una gran variedad de opciones de equipos, en el mercado. Diferentes empresas están enfocadas en la producción de equipos con tecnología de punta para proporcionar un buen desempeño en la red. La diferencia, en cuanto al estándar	La norma japonesa presenta una gran desventaja en cuanto a la disponibilidad de los equipos de distribución, lo que no ha permitido que se la realización de pruebas con este estándar.

	japonés, es el escaso mercado de equipos que operan con las tecnologías implicadas en este estándar, pues comprende un sistema robusto	
El precio del receptor debe ser asequible a los usuarios	El precio para el equipo de recepción depende del servicio para el cual se destine, es decir si se desea recibir una señal de mejor calidad, por supuesto, se tendrá que hacer una inversión considerable. Si el usuario desea recibir mayor contenido o ser beneficiado con los servicios, por ejemplo, interactividad, basta con adquirir un STB y adaptarlo a su televisor analógico.	Según lo descrito en el capítulo 5, el estándar europeo presenta mayor disponibilidad, variedad y mejores costos de equipos de recepción.
Aspectos de regulación	La selección del estándar para TDT debe ser determinado de tal forma que produzca el menor impacto para la reasignación de frecuencias, la idea principal es que el estándar tenga funcionalidad completa para operar en un ancho de banda de 6MHz y se mantenga la compatibilidad con la norma de televisión analógica existente	Los estándares ATSC e ISDB-T presentarán menor traumatismo ya que utilizan un ancho de banda de 6MHz.

7.6.3 Conclusiones respecto al estándar para TDT en Colombia. Según los criterios y observaciones descritas anteriormente y aplicándolo al entorno colombiano se puede concluir:

- El estándar ISDB-T es el que ofrece mayor robustez, gracias a los procesos altamente complejos que se llevan a cabo durante la codificación del canal.
 - Ofrece más servicios incluyendo movilidad, portabilidad, transmisión de señales de alta definición y de definición estándar y operación en redes de frecuencia única.
 - Utiliza una modulación jerárquica que permite segmentar la banda para la transmisión de varios servicios. Utiliza un ancho de banda de 6 MHz, por lo cual se podría adaptar a la forma como está distribuido el espectro en Colombia.
 - Según los objetivos de la CNTV, el estándar japonés es el que cumple con la mayoría de los requerimientos técnicos y de regulación para la transmisión de TDT en Colombia.

- El único inconveniente que presenta, se encuentra relacionado con la disponibilidad de los equipos de distribución y recepción, ya que este estándar solo ha sido implementado en Japón y su mercado está concentrado en esta zona.
- Para el caso de Brasil, que ya adoptó esta norma, la solución propuesta para superar esta dificultad es fabricar en el país brasilero los equipos de recepción.
- Si se decidiera elegir esta norma, se estaría dependiendo del mercado y período de transición de Brasil, lo que causaría un retraso en la implantación de TDT en Colombia y una dependencia del mercado del país vecino.
- El estándar ATSC cumple con sólo algunos de los requerimientos técnicos para la TDT en Colombia, principalmente el relacionado con el aspecto de regulación, ya que si se adoptara este estándar causaría un menor traumatismo para la reasignación de frecuencias en el espectro.
 - A pesar de que esta norma ofrece los servicios de transmisión de señales de SDTV y HDTV, gran disponibilidad de equipos de generación, distribución y recepción; presenta algunas dificultades relacionadas con el bajo desempeño en operación en Redes de frecuencia única y recepción móvil, ya que estas normas se encuentran en desarrollo.
 - No sobra mencionar que el estándar americano ha presentado varias dificultades en el proceso de transición a la DTV en Estados Unidos, las fechas inicialmente programadas se han vencido y la transición a la TDT no se ha podido cumplir.
 - Estas razones anteriormente descritas hacen que la opción de la norma ATSC no sea la más viable para Colombia.
- La norma DVB-T cumple con varios de los requerimientos de la TDT en Colombia.
 - Ofrece los servicios de multicasting y de transmisión de señales HDTV, grandes tasas de transmisión, mayor inmunidad a interferencia, operación en redes de frecuencia única, gran disponibilidad en el mercado de equipos de producción, distribución y recepción de la señal, la opción de trabajar en diferentes bandas de frecuencia (6, 7 y 8 MHz) y la experiencia de muchos países que han elegido e implantado este estándar para la transmisión de TDT.

- El único parámetro que no cumple con respecto a los objetivos de la CNTV es el relacionado a la regulación, ya que este estándar, aunque puede operar utilizando un ancho de banda de 6 MHz, experimentalmente su mejor desempeño se logra utilizando 8 MHz, lo cual implicaría un proceso más cuidadoso y de mayor dificultad para la reasignación de frecuencias en el espectro y para el proceso de transición en donde deben convivir ambos tipos de transmisiones (analógica y digital).
- El único país que ha migrado a la norma DVB-T con un ancho de banda de 6 MHz es Taiwan, y como se describió en el capítulo 6, la estrategia utilizada para la transición corresponde a que el propio país fabrique la tecnología que cumpla con los requisitos.
- En el caso de que el estándar europeo se implementara en Colombia, sería necesario la redistribución del espectro.

7.7 PROPUESTA PARA TRANSICIÓN

Para la transición tecnológica a la TDT, se ha tenido en cuenta que el proceso de introducción a la TDT en Colombia ya ha comenzado y que algunas fechas han sido ya definidas por la CNTV y e Ministerio de Comunicaciones. La propuesta se resume en las etapas descritas en la tabla 51, algunas de ellas ejecutadas de forma cronológica y otras de forma simultánea. Esta propuesta está enfocada a los procesos netamente técnicos para la implantación de TDT en Colombia.

7.7.1 Actividades.

Tabla 51. Cronograma de Transición para la TDT en Colombia

Actividad	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1.1														
1.2														
1.3														
1.3.1														
1.3.2														
1.4														
1.5														
2.1														
2.2														
3														
4														

1) Estudio de los estándares de Transmisión de TDT

1.1) Estudio técnico teórico de los estándares de TDT. La inclusión de TDT en Colombia es relativamente nueva y actualmente es el tema de mayor auge e interés. A partir del año 2006 se ha iniciado el proceso de estudio de los estándares de TDT, definiendo los estándares a estudiar, parámetros para la selección del estándar y el objetivo de introducir el servicio de TDT en el país.

1.2) Estudio de la tecnología TDT. Definición de la cadena de valor. Las nuevas posibilidades de la difusión digital de TDT, fragmentan y amplían la cadena de valor tradicional de la televisión. En la figura se muestra la distribución de la cadena de valor para la televisión digital.

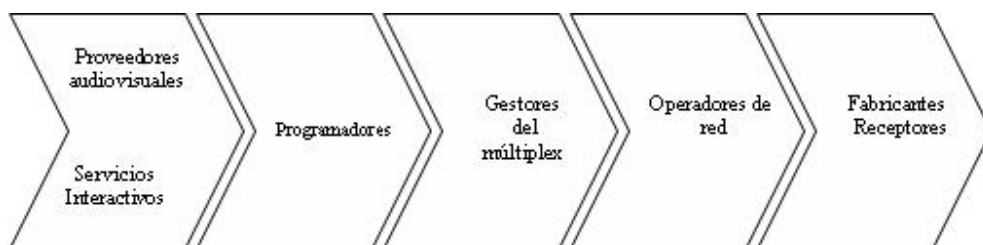


Figura 56. La cadena de valor para la TDT.

La cadena de valor se encuentra conformada por:

- Proveedores audiovisuales y de servicios interactivos: la importancia de los contenidos generados y los nuevos servicios interactivos influyen en la transición hacia la nueva tecnología para los usuarios
- Programadores: administran los contenidos en programas para presentar propuestas que llamen la atención de los usuarios.

Dentro de estas piezas de la cadena de valor, se encuentran las etapas de producción y emisión de la red televisiva.

- Gestores del múltiplex: Administración de los procesos de codificación del canal, y modulación de las señales de televisión, para llevarlos a la etapa de múltiplex y transporte. Aquí finaliza el proceso emisión y comienza el de transmisión de la red televisiva.
- Operadores de Red: Realizan la multiplexación y transporte de la señal televisiva. Involucra el proceso de transmisión de la señal para el usuario.
- Fabricantes de Receptores: Brindan al usuario un sistema de recepción apropiado al estándar de TDT adoptado. Es uno de los puntos críticos en la

cadena de valor, tendrá cambios sustanciales y la posibilidad de adición de nuevas ventajas a la señal analógica convencional, esto durante el período de transición.

1.3) Pruebas de los diferentes estándares para corroborar lo estudiado en la parte teórica. Las pruebas realizadas con los equipos de los diferentes estándares de TDT es quizá el principal factor para la elección del estándar. En Colombia se realizaron algunas pruebas en junio de 2006 con los estándares americano y europeo, las pruebas con el estándar japonés comenzarán a finales del año 2007.

1.3.1) Definición de las pruebas y localización de las mismas [92]. Dentro de las pruebas que se deben efectuar se encuentran pruebas de cobertura, servicio, modalidades de recepción: recepción fija en interiores, recepción fija en exteriores, recepción móvil (vehicular); y otras que puedan brindar mayores elementos de evaluación.

Pruebas de recepción fija: Se pueden realizar en diversas zonas: residenciales, edificios de departamentos, de difícil acceso para la televisión analógica, en zonas de sombras producidas por cerros y en otras que se determinen en el estudio de gabinete. En estas pruebas están incluidos los lugares donde los espectadores utilicen normalmente los receptores de televisión para el entretenimiento e información durante periodos de tiempo cortos y largos, por lo que es necesario elegir los puntos de manera estratégica.

Dentro del equipo para las pruebas se pueden describir:

- Configuración del sistema de transmisión: ubicación de la instalación, potencia de salida del transmisor, banda de operación.
- Señales de prueba: transmisión de señales SD o HD, con programación variada. Definir las características apropiadas de imagen y sonido para distinguir errores de propagación. Estas pruebas se deben hacer utilizando una señal por estándar, pues los formatos de exploración son diferentes.
- Moduladores comerciales, que operen con un ancho de banda especificado para la transmisión, inicialmente se busca que modulador opere en 6 MHz.
- Modulador RF y amplificador de potencia: la señal modulada en cada uno de los tres estándares es enviada por el mismo transmisor en el canal.
- Antena de transmisión: El arreglo de antenas debe contar con un patrón de radiación instalado en la torre de transmisión. Una modificación en las características del sistema irradiante impacta la cobertura del servicio.

En los equipos de prueba para recepción de TDT, se deben incluir:

- Modos de recepción
 - En interiores
 - En exteriores
- Decodificadores: de acuerdo con cada estándar (2 por cada uno), marca, modelo y especificaciones técnicas. Debe tener una salida compatible con NTSC
- Receptores digitales: dos por cada estándar, marca, modelo y especificaciones.
- Pruebas de campo: evaluación de parámetros cualitativos como recepción de señal, calidad subjetiva de la imagen, calidad y continuidad del audio codificado, y parámetros cuantitativos, mediciones de BER, intensidad de campo electromagnético, potencia de la señal recibida.

1.3.2) Realización de la pruebas. Las pruebas de TDT se deben realizar antes y durante el período de inicio de transmisión de TDT. Inicialmente con los tres estándares y luego con el estándar seleccionado. Se tiene un periodo programado a partir de 2006 (Inicio de las pruebas) y finales de 2009 (Inicio de transmisiones de TDT).

1.4) Mediciones y comparación de resultados. Los puntos de medición se deben seleccionar de acuerdo a consideraciones geográficas y puntos específicos. Hasta el momento se han seleccionado tres puntos de medición estratégicos para las pruebas de TDT, Bogotá, Cartagena y Pereira, en las dos primeras ciudades ya se han realizado algunas pruebas de TDT con el estándar americano y europeo.

- En exteriores: preselección de puntos en exteriores, considerando una cantidad adecuada para permitir la posibilidad de descartar lugares inaccesibles.
- En interiores: mediciones que simulen situaciones reales de recepción. Se realiza en un mínimo del 20% de emplazamientos de recepción que disfrutan de una elevada intensidad de señal y buena recepción en exteriores. Las mediciones se realizan en los lugares utilizados para la recepción de señal, situando la antena a una altura de 1,5 m de la superficie sobre la que el ejecutor de la prueba se encuentre ubicado.
- Mediciones de recepción móvil: en una unidad móvil se instala el equipo y se calcula una ruta definida. La recepción se evalúa en términos de diversos trayectos, interferencia de canales analógicos, condición de tráfico y otros.

1.5) Definición del estándar de TDT. La selección del estándar de TDT se debe tomar de acuerdo a los objetivos propuestos por la CNTV y el Ministerio de Comunicaciones y los resultados obtenidos de los estudios y pruebas realizadas. A pesar de que la fecha programada para la selección del estándar es marzo de 2008, es importante que para esta fecha se tenga un concepto claro del desempeño de cada uno de los estándares en el territorio colombiano.

2) Implementación de la red de televisión a nivel nacional. Así como comenzaron las primeras transmisiones analógicas de televisión en el país, la transición a digital debe efectuarse siguiendo las mismas etapas de implantación de televisión, comenzando por los canales nacionales, cuyas estaciones se encuentran distribuidas a lo largo de todo el país, y la transición de tecnología se comience en las estaciones de mayor cobertura y demanda del servicio, con el fin de que se permita a las estaciones en ciudades más pequeñas un período de tiempo mayor para la transición

El proceso de apagón tecnológico se realizará en un lapso de diez años, como lo han estipulado los entes gestores de este proceso (CNTV, Ministerio de Comunicaciones, etc.), a partir de la primera transmisión de TDT que se realice. Como la definición del estándar se encuentra programada para Marzo de 2008, se estima que el comienzo de las transmisiones digitales se lleve a cabo a finales del año 2009 e inicios de 2010. En esta etapa de implementación se debe tener en cuenta principalmente los siguientes aspectos:

- Cambio de infraestructura dedicada: digitalización de las señales, compresores de video y audio, multiplexores y modulador específico para el estándar en los sitios de transmisión
- El cambio debe hacerse de manera paulatina, esto para que exista la continuidad del servicio analógico, mientras se instala el nuevo servicio digital
- Empezar con el cambio de infraestructura para las estaciones más importantes y continuar con las de menos relevancia, esto es las que brindan el servicio de cobertura a áreas más pequeñas de la población nacional.

2.1) Implementación de la TDT para las estaciones de las cadenas nacionales. Las estaciones de las cadenas nacionales privadas (RCN y Caracol) y públicas (Señal Colombia, Canal Uno y Canal Institucional) serán las primeras en comenzar las transmisiones de TDT en Colombia.

2.2) Implementación de la TDT para las estaciones regionales. Se programará un lapso de dos a tres años para los ocho canales regionales, a partir del inicio de transmisiones de TDT en canales nacionales.

3) Planificación del Espectro. La planificación del Espectro radioeléctrico se debe realizar antes de las transmisiones de TDT y durante todo el proceso de transición. En este lapso de tiempo se deben tener en cuenta muchos parámetros, principalmente los resultados de las pruebas y las transmisiones de TDT que se hayan realizado, y la coexistencia de las dos tecnologías en el período de transición.

A continuación se van a proponer las opciones viables para la planificación del espectro durante el período de transición:

- La de menor impacto se llevaría a cabo en el caso de que utilizar un ancho de banda de 6 MHz para la transmisión de TDT, como a los canales se les tiene asignado un canal de guarda adicional, se puede utilizar esta banda libre asignado un nuevo canal digital.
- Si se elige el estándar DVB-T para operación en canales de 8MHz, es necesario redistribuir totalmente el espectro, inicialmente se asignaría los nuevos canales de TDT en las bandas libres de radiodifusión. Esta asignación sería temporal. Para hacer la transición de analógico a digital de cada canal existente, se reubicarían los canales, en la siguiente forma: a cada canal de 6 MHz, analógico se le adicionaría 2 MHz, para tener 8 MHz cuando ya esté servicio libre para DTV.

4) Cese de transmisiones analógicas. El cese de transmisiones analógicas en todo el país se encuentra programado para finales de 2019. La idea es que para esta fecha los canales principales que iniciaron previamente el proceso de transmisión de TDT ya hayan finalizado sus transmisiones analógicas.

CONCLUSIONES

Colombia se prepara actualmente para la transición de la televisión analógica a digital, se espera que los estudios que se realicen en cuanto al análisis del estándar de transmisión de TDT conlleven a la selección del más apropiado teniendo en cuenta características y factores importantes en las diferentes áreas: técnica, económica, de regulación y social

Este trabajo presentó una descripción de los aspectos técnicos de los tres estándares actuales de transmisión de TDT, partiendo de una revisión teórica de sus características y resaltando las ventajas y desventajas que presentan. A continuación se presenta la viabilidad y factibilidad de cada uno de ellos para implantar en el entorno colombiano, según los objetivos propuestos por la CNTV. Sin embargo, esta decisión dependerá ampliamente del enfoque que se dé a la implantación de esta nueva tecnología en el país, ya que los factores políticos, económicos, sociales y culturales, resultarán en acciones consecuentes a la implementación del estándar.

El proceso de adopción de televisión digital, se encuentra en un continuo cambio en diferentes lugares del mundo, cada país ha asumido una perspectiva, de acuerdo a los propios requerimientos exigidos. La metodología empleada por cada país, sirve como modelo a seguir para la adopción e implementación de la técnica de televisión digital en el territorio nacional. Por ello se analizaron las tendencias de países que han adoptado alguna norma, transigiendo del mismo sistema analógico que se utiliza actualmente.

Se efectuó una recopilación de información sobre dispositivos disponibles en el mercado, que tendrán efecto en el cambio de infraestructura para la red de televisión digital, describiendo características y ofertas de fabricantes según requisitos de cada estándar.

Basado en el estudio comparativo de los estándares y experiencia de países, se planteó una propuesta de transición, según las fechas posibles, establecidas por las entidades de regulación, especificando los procesos tecnológicos que se deben llevar a cabo para asumir esta transformación.

Dentro de las conclusiones obtenidas en el desarrollo de este documento, referentes a cada uno de los criterios para la adopción de la TDT en Colombia se pueden enunciar:

- El aspecto económico afectará en gran medida al televidente. Referente a los equipos de recepción todavía no se ha acordado establecer algún tipo de subsidio para los televidentes, en este caso la posible solución para el usuario sería optar por la utilización de la caja decodificadora, pues los costos de la misma son mucho menores que la adquisición del televisor digital integrado. El precio del STB, como se enunció en el capítulo cinco, varía de acuerdo al estándar de transmisión. El estándar DVB-T ofrece más diversidad de precios y modelos.

Por otra parte, la inversión para la infraestructura de transmisión deberá ser autofinanciada por los operadores de televisión (para canales privados) y por la CNTV (para los canales públicos). Las empresas de producción y radiodifusión requerirán cambiar su infraestructura para la producción de DTV dependiendo del formato (HDTV o STDV), y aunque los tres estándares permiten la emisión de estos dos tipos de formatos, DVB-T tiene como principal objetivo transmitir señales en SDTV, así los operadores no tienen que hacer grandes inversiones en equipo de HDTV y se mantiene la transmisión en el formato utilizado actualmente para la transmisión de TV analógica. Sin embargo, para la transmisión de la señal de DTV, el estándar ATSC requiere menor potencia para una gran área de cobertura, lo que implica transmisores menos costosos y menor infraestructura en torres y antenas emisoras.

La inversión adicional que deberán hacer los productores se verá reflejada en nuevas posibilidades de mercados y servicios, permitiendo una recuperación de la inversión a corto o mediano plazo. En cuanto a los usuarios, debe traducirse en el aprovechamiento de los servicios que ofrece DTV y no conformarse con la recepción de una señal de mejor calidad.

No sobra mencionar que el cambio en la infraestructura de transmisión es independiente de cuál estándar se elija

- El impacto social está altamente relacionado con el económico, y la forma como será realizado el proceso de adquisición de los receptores de DTV para los televidentes, enfocándose principalmente en lo que el usuario desea ver y cuál será el precio que deberá pagar a cambio de los beneficios. En el caso de una sociedad, como la colombiana, donde la señal televisiva no cubre la totalidad de las regiones, es importante evaluar la posibilidad de subsidio que permita que los usuarios de menores ingresos económicos puedan acceder a estos nuevos servicios.
- El marco regulatorio es sin duda uno de los criterios más afectados en el proceso de transición. La gestión del espectro dependerá directamente del estándar que se elija. Los entes de regulación deberán garantizar la transmisión de ambas tecnologías, desde comienzos de la transición, sin que

el usuario se vea afectado por interferencias, causadas posiblemente, por la transmisión simultánea. La principal opción para causar menos impacto en la regulación del espectro es seleccionar un estándar que utilice el mismo ancho de banda de 6 MHz ocupado por los canales analógicos actuales, los tres estándares brindan la posibilidad de acomodar canales y servicios en este ancho de banda, aunque el estándar europeo, sólo se ha adoptado en un país operando en este ancho de banda de 6 MHz, lo que es una desventaja en cuanto a experiencia y tecnología de los receptores para trabajar en esta frecuencia.

- Los aspectos técnicos se refieren a las características de cada estándar, los cuales abarcan los diferentes parámetros descritos a lo largo del documento, entre los cuales están cobertura de la señal, niveles de potencia, ancho de banda, movilidad, inmunidad a interferencia, flexibilidad y multicasting, compatibilidad con sistemas por cable y/o satélite, transmisión de programas de alta definición y definición estándar. Respecto al desempeño de cada uno de los estándares se puede concluir que según aspectos totalmente técnicos y teóricos, el mejor desempeño lo presenta ISDB-T. Un parámetro definitivo para la elección de la norma de TDT enmarca los resultados de pruebas técnicas descritas en el capítulo siete. Sin embargo, por la escasez de equipos disponibles en el mercado, tanto de recepción como de distribución, no ha sido posible realizar la totalidad de las pruebas para comprobar el desempeño en la geografía colombiana.

Pruebas con ATSC y DVB-T se han efectuado en Bogotá, desde junio del año 2006. A pesar de la solicitud realizada a la CNTV, la información de resultados y comportamiento de las pruebas, no fue suministrada para validar los resultados de este trabajo.

La experiencia de la implantación de TDT en diferentes partes del mundo es un punto de partida para evaluar la viabilidad de implementar DTV en Colombia, considerando principalmente los aspectos usados para la selección de la norma de TDT. Para el análisis de este aspecto, se tomó el ejemplo de países que han adoptado las normas de TDT como continuación del sistema NTSC para televisión analógica al sistema digital: Brasil, México y Taiwan.

Se han tomado como referencia estos tres países, ya que cada uno de ellos ha adoptado uno de los tres estándares de TDT. Brasil optó por la norma japonesa, después de realizar pruebas con los tres, concluyendo que los resultados mostrados por los análisis y experimentos eran mejores comparados con el estándar europeo, descartando el americano por la gran diferencia en desempeño. Con respecto a la disponibilidad de receptores (debido a que para la norma japonesa son muy escasos), la solución escogida por el país vecino fue fabricar sus propios equipos con la posibilidad de reconvertirse en distribuidor de la tecnología en Latinoamérica. Sin embargo, la opción de preferir el estándar

japonés implicaría retrasar el proceso de implantación de la TDT en Colombia, al esperar los resultados de Brasil.

México, por opciones como cercanía y posibilidades de mercado con Estados Unidos optó por ATSC. El principal objetivo era optimizar el uso del espectro conservando el ancho de banda de 6 MHz que utilizaba la norma analógica. El mercado de México para los equipos de recepción y distribución se concentra en Estados Unidos cómo principal proveedor.

Taiwan inicialmente adoptó por ATSC con fines de mantener la compatibilidad con el sistema de TDT, sin embargo, en el 2004 se retractó de esta decisión eligiendo la norma europea con su extensión de 6 MHz, convirtiéndose en el primer país en implementarla. La opción que optó este país con respecto a la disponibilidad de receptores (que son escasos para esta extensión de la norma) fue fabricarlos.

SELECCIÓN DEL ESTÁNDAR DE TDT

La fecha de elección del estándar de transmisión de TDT que se implementará en Colombia está muy cerca y la decisión fundamentada en resultados de pruebas aún genera incertidumbre y aunque se debe agilizar el proceso para la implantación de TDT en Colombia, no se puede elegir una norma sin evaluar de forma global estos requerimientos.

Como conclusión de esta premisa, y teniendo en cuenta los aspectos analizados en este proyecto, la selección del estándar dependerá de la situación actual y la perspectiva que tengan los entes reguladores para la disposición final: si comenzar el proceso de manera rápida o aplazarla para un estudio más dedicado y así obtener la decisión fundamentada en estudios verídicos.

RECOMENDACIONES

El análisis presentado en este documento describe principalmente un estudio técnico de los estándares de TDT, sin embargo este no es el único factor a tener en cuenta para la elección del estándar. Entre los trabajos futuros que complementan los factores descritos en el contenido de este documento se pueden enunciar:

- Una evaluación económica para la inclusión de TDT en el país, que incluya un análisis costo-beneficio de la transición tecnológica que debe tomar la televisión, la evaluación del efecto en la cadena de valor para la Televisión en Colombia, teniendo en cuenta la viabilidad de la transición del sistema analógico a digital, análisis de los servicios adecuados para la realidad colombiana y los riesgos que trae para la economía del país.
- Elaboración de un plan de frecuencias para el estándar seleccionado de transmisión de TDT, teniendo en cuenta la convivencia de ambas tecnologías durante el período de transición, aprovechando la capacidad de los sistemas de modulación disponibles y permitiendo un mayor cubrimiento de las señales analógicas y digitales, evitando posibles interferencias.
- Realización de las pruebas técnicas recomendadas en el capítulo siete, para medir el desempeño de los estándares de TDT, y concluir acerca del comportamiento de cada uno de ellos en la geografía colombiana. Se sugiere, contar con la asesoría y tecnología proporcionada por un algún canal local y/o regional.

Como recomendaciones a una decisión previa tan importante que marcará la historia tecnológica del país, se propone:

- Otorgar más plazo a la fecha estipulada para la determinación del estándar, de esta manera, es posible realizar un mayor número de pruebas con más equipos adecuados para cada uno de los estándares de transmisión de DTV.
- Ampliar el período de transición programado, basándose en una técnica prospectiva que respalde esta disposición, para reducir el impacto que puede causar este proceso.
- Estudiar la viabilidad de implementar el estándar DVB-T en Colombia para operación en canales de 8 MHz. Se debe hacer una redistribución del espectro electromagnético, lo que requiere otorgamiento de nuevas licencias para operadores por parte del Ministerio de Comunicaciones e inversiones en equipo adicional que operen en la frecuencia de la nueva banda asignada, y una gestión dedicada a las nuevas porciones de espectro radioeléctrico que entran en funcionamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CONCEPTOS BÁSICOS DE TELEVISIÓN. [Sitio en Internet]. Disponible en: <http://www.ifent.org/electronica/TVBN/CONCEPTOSTELE.html>
- [2] Robin M, Poulin M. Basics of Television. En: Robin M, Poulin M. Digital Television Fundamentals: Design and Installation of Video and Audio Systems. Segunda edición. New York: McGraw Gil; 2000. p. 1-35
- [3] Guía de Televisión: www.softdownload.com.ar. [Documento publicado en Internet]. 15 p. Disponible en: <http://www.munisurquillo.gob.pe/website/libros/Manuales/Softdownload/Gu%EDa%20de%20Televisi%F3n.pdf>
- [4] Serna M. “implantación de televisión digital en Colombia: estudio técnico y económico (Para el Estándar ATSC, Doc. A/53B: Revisión B con Enmiendas 1 y 2)”. [Trabajo de grado]. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Santiago de Cali, 2005. 119 p.
- [5] Fibush D., Elkind B., Ainsworth K. A Guide to Digital Television Systems and measurements. United States: Tektronix Inc.; 1997. 56p.
- [6] Unión Internacional de Telecomunicaciones. Recomendación UIT-R BT.601-6: Parámetros de codificación de televisión digital para estudios con formatos de imagen normal 4:3 y de pantalla ancha 16:9. Sexta revisión. Ginebra: UIT; 2007. 13 p. SERIE BT – Servicio de radiodifusión (televisión). Disponible en: <http://www.itu.int/publications>
- [7] Rutz B. “A Guide to Understanding today’s Digital Video”. JVC Professional Products Company, West Coast Region. 12 p. Disponible en [http:// www.digital-s.com](http://www.digital-s.com).
- [8] Robin M., Poulin M. The component Digital Standards. En: Robin M., Poulin M. Digital Television Fundamentals: Design and Installation of Video and Audio Systems. Segunda edición. New York: McGraw Hill; 2000. p.169-211
- [9] Rutz B. Understanding today’s digital video. JVC professional Products Company, West Coast Region. p. 2-4 Disponible en [http:// www.digital-s.com](http://www.digital-s.com)
- [10] Rutz B. A Guide to Understanding today’s digital video. JVC professional Products Company, West Coast Region. p. 5 Disponible en [http:// www.digital-s.com](http://www.digital-s.com)

- [11] Image and Video Compression Techniques. [Sitio en Internet]. Disponible en <http://www.autosophy.com/videcomp.htm>
- [12] Rutz B. Understanding today's digital video. JVC professional Products Company, West Coast Region. p. 7. Disponible en <http://www.digital-s.com>
- [13] SONY Broadcast and Professional Group. Sumario Técnico: MPEG-2 4:2:2 para aplicaciones de transmisión y producción de televisión digital. México: SONY Profesional de México.
Disponible en: <http://corporacionvideo.com/pdfdoc/mpegaplicacion.pdf>
- [14] Robin M., Poulin M. Advanced Television (ATV) concepts. En: Robin M., Poulin M. Digital Television Fundamentals: Design and Installation of Video and Audio Systems. Segunda edición. New York: McGraw Gil; 2000. p. 500-502
- [15] Martínez P. HDTV Televisión de Alta Definición. [Artículo]. Universidad EAFIT. Especialización en Teleinformática. Medellín, Antioquia, Colombia. 7 p.
- [16] Robin M., Poulin M. Digital Audio Fundamentals: Nyquist principle and aliasing. En: Robin M., Poulin M. Digital Television Fundamentals: Design and Installation of Video and Audio Systems. Segunda edición. New York: McGraw Gil; 2000. p. 237-239
- [17] Robin M., Poulin M. Digital Audio Fundamentals: Standard sampling frequencies. En: Robin M., Poulin M. Digital Television Fundamentals: Design and Installation of Video and Audio Systems. Segunda edición. New York: McGraw Gil; 2000. p. 247
- [18] Alexander D. Television in the Digital Age. En: Alexander D. Digital Television: A policy framework for accessing e-government services. [Resumen Ejecutivo]. Londres: CabinetOffice Office of the e-Envoy. Diciembre de 2003. p. 5-11. Disponible en <http://www.govtalk.gov.uk>.
- [19] Mateo R. Televisión Digital. [Monografía]. Universidad Autónoma de Santo Domingo. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Departamento de Ingeniería Electromecánica. Santo Domingo; mayo de 2000. 26p. Se encuentra en: <http://www.monografias.com/trabajos5/tv/tv.shtml>
- [20] Strachan D., Conrod R. and Proulx M. An Introduction to Digital Television. SMPTE Journal, Leitch Technology International. Ontario, Canadá: Society of Motion Picture and Television Engineers, Inc; 1995. 2 p.
- [21] COMISIÓN NACIONAL DE TELEVISIÓN CNTV. La televisión digital en el marco internacional y los avances en Colombia. En: RCT On line 2007-04-23 Tema Central, Colombia avanza hacia la televisión digital: Comisión Nacional de

Televisión. 17 p. Edición No. 20 (Mayo 8 de 2007). ISSN 1692-1585. Se encuentra en: <http://www2.cintel.org.co/rctonline/noticia.php3?nt=5544&edicion=20>

[22] Grgić S., Grgić M., Zovko-Cihlar B. Digital Television Transmission and Broadband network technologies. [Artículo técnico]. University of Zagreb. Faculty of Electrical Engineering and Computing. Zagreb, Croatia. 12 p.

[23] International Television Broadcasting. Task Group 11/3. A guide to digital terrestrial television broadcasting in the VHF/UHF bands. Document 11-3/3-E. Original: English only. Archivo de Australia: Radiocommunications Study Groups; 15 de enero de 1996. 108 p. Disponible en: <http://happy.emu.id.au/lab/tut/dttb/dttbtuti.htm>

[24] Baron S. and Wood D. ITU dimension: The worldwide to DTV standards – the impossible took a little longer! EBU Technical Review; Julio de 2006. 13 p.

[25] O'Leary S. Digital, Audio, and Video Technology Series. Understanding Digital Terrestrial Broadcasting. Primera Edición. Boston: Artech House Inc.: 2000. p. 41-57.

[26] Unión Internacional de Telecomunicaciones. Recomendación UIT-R BS.1196-1: Codificación de audio para la radiodifusión de la televisión terrenal digital. Ginebra: UIT; abril de 2001. 133 p. SERIE BS – Servicio de radiodifusión sonora. Disponible en: <http://www.itu.int/publications>

[27] Advanced Television Systems Committee. Digital Audio Compression Standard (AC-3, E-AC-3). Revision B. Doc. A/52B, 14 June 2007. Washington: 14 de junio de 2007. 236 p. Se encuentra en: <http://www.atsc.org>

[28] Unión Internacional de Telecomunicaciones. Recomendación UIT-R BT.1209-1: Métodos múltiple de servicio para la radiodifusión de televisión terrenal digital. Ginebra: UIT; octubre de 1997. 11 p. SERIE BT – Servicio de radiodifusión (Televisión). Disponible en: <http://www.itu.int/publications>

[29] Delgado A. Flujos de programa y de transporte MPEG-2, aplicación a DVB-T. [Informe escrito]. Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Electromagnetismo y Teoría de Circuitos. Madrid; 2002. 34 p.

[30] ISO/IEC. ISO/IEC 13818-1 Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems. [International Standard]. Geneva, Switzerland: ISO copyright office; 2000. 174 p.

[31] Valentin R. Broadcast Engineer's Handbook. Digital Technology: Manual de Transmisión Digital de TV. Caravaggio, Italy: Advanced Broadcasting Electronics ABE; 2004. 28 p. Disponible en: <http://www.abe.it>

- [32] Sparano D. What Exactly is 8-VSB anyway? Tercera edición. The Millar Freeman Guide to Digital Television; 1997. 17 p.
- [33] Delgado A. Transmisión de Señales de TV Digital en el estándar terreno DVB-T. [Informe escrito]. Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Electromagnetismo y Teoría de Circuitos. Madrid; 2002. 38 p
- [34] Faria G. COFDM: An opportunity to operate differently broadcast networks? [Artículo]. France: ITIS; 1999. 6 p. En: White Papers, News and Resources. Harris. Se encuentra en: http://download.harris.com/app/public_download.asp?fid=500
- [35] Marianov V., Oberli C., Ríos M. Análisis de los estándares de transmisión de televisión digital terrestre y su aplicabilidad al medio nacional: Informe final. [Estudio Técnico]. Pontificia Universidad Católica de Chile. Escuela de Ingeniería. Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Santiago de Chile; 10 de octubre de 2006. 78 p.
- [36] Advanced Television Systems Committee. Part 1 – Digital Television System. Doc. A/53, Part 1:2007. Washington: 3 de enero de 2007. 22 p. Se encuentra en: <http://www.atsc.org>
- [37] Davidson G., Isnardi M., Fielder L., Goldman M., Todd C. ATSC Video and Audio Coding. En: Proceedings of the IEEE, Volumen 94. No. 1; 0018-9219; enero de 2006. p. 60-76
- [38] Advanced Television Systems Committee. Part 4 – MPEG-2 Video System Characteristics. Doc. A/53, Part 4:2007. Washington: 3 de enero de 2007. 18 p. Se encuentra en: <http://www.atsc.org>
- [39] Advanced Television Systems Committee. Digital Audio Compression Standard (AC-3, E-AC-3). Revision B. Doc. A/52B, 14 June 2007. Washington: 14 de junio de 2007. 236 p. Se encuentra en: <http://www.atsc.org>
- [40] Advanced Television Systems Committee. Part 3 – Service Multiplex and Transport Subsystem Characteristics. Doc. A/53, Part 3:2007. Washington: 3 de enero de 2007. 27 p. Se encuentra en: <http://www.atsc.org>
- [41] Advanced Television Systems Committee. Part 2 – RF/Transmission System Characteristics. Doc. A/53, Part 2:2007. Washington: 3 de enero de 2007. 44 p. Se encuentra en: <http://www.atsc.org>
- [42] Advanced Television Systems Committee. Synchronization Standard for Distributed Transmission, Revision A. Doc. A/110A, 19 July 2005. Washington: 19 de julio de 2005. 60 p. Se encuentra en: <http://www.atsc.org>

- [43] Robin M, Poulin M. Advanced Television (ATV) Concepts : Receiver characteristics. En: Robin M, Poulin M. Digital Television Fundamentals: Design and Installation of Video and Audio Systems. Segunda edición. New York: McGraw Gil; 2000. p. 591-593
- [44] European Telecommunications Standards Institute. ETSI EN 300 744 Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television [European Standard]. Final draft V1.5.1. European Broadcasting Union; 2004. 64 p. Telecommunications series
- [45] European Telecommunications Standards Institute. ETSI TR 101 154 Implementation guidelines for the use of MPEG-2 Systems, Video and Audio in satellite, Cable and terrestrial broadcasting applications. [Reporte Técnico]. V1.4.1. European Broadcasting Union; 2000. 60 p.
- [46] ISO/IEC. ISO/IEC 13818-2 Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video. [International Standard]. Segunda edición. Geneva, Switzerland: ISO copyright office; 2000. 11 p.
- [47] European Telecommunications Standards Institute. ETSI 300 468 Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems. [European Standard]. V1.5.1. European Broadcasting Union; 2003. 94 p. Telecommunications series
- [48] European Telecommunications Standards Institute. ETSI TR 101 190 Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for DVB terrestrial services; Transmission aspects. [Technical Report]. V 1.2.1. European Broadcasting Union; 2004. 75 p
- [49] European Telecommunications Standards Institute. ETSI EN 301 958 Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for Digital Terrestrial Television (RCT) incorporating Multiple Access OFDM. [European Standard]. V1.1.1. European Broadcasting Union; 2002. 164 p. Telecommunications series.
- [50] European Telecommunications Standards Institute. ETSI TS 101 191 Digital Video Broadcasting (DVB); DVB mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization. [Technical Specification]. V 1.4.1. European Broadcasting Union; 2004. 18p.
- [51] Ibrahim K. F. Receptores de TV digital. En: Ibrahim K. F. Receptores de Televisión. Segunda edición. Barcelona: Marcombo, S.A.; 2001. p. 381-399
- [52] European Telecommunications Standards Institute. ETSI EN 302 304 Digital Video Broadcasting (DVB); Transmission System for Handheld Terminals (DVB-

H). [European Standard]. V 1.1.1. European Broadcasting Union; 2004. 14 p. Telecommunications series

[53] Wu Y., Hirakawa S., Reimers U., Whitaker J. Overview of Digital Television Development Worldwide. En: Proceedings of the IEEE, Volumen 94. No. 1; 0018-9219; enero de 2006. p. 8-21

[54] Association of radio Industries and Business. Specification of channel coding, framing structure and modulation. Tokio: ARIB; 1998. 56 p.

[55] Association of radio Industries and Business. Video coding, audio coding, and multiplexing specifications form digital broadcasting. English Translation. ARIB STD-B32 Versión 2.1. Tokio: ARIB; 2007. 130 p. Disponible en: <http://www.arib.or.jp/english/index.html>

[56] Association of radio Industries and Business. Transmission System for Digital Terrestrial Television Broadcasting. English Translation. ARIB STD-B31 Versión 1.6. Tokio: ARIB; 2005. 173 p. Disponible en: <http://www.arib.or.jp/english/index.html>

[57] Association of radio Industries and Business. Receiver for digital broadcasting. English Translation. ARIB STD-B21 Versión 4.6. Tokio: ARIB; 2007. 306 p. Disponible en: <http://www.arib.or.jp/english/index.html>

[58] Sakurai M. Digital Television Receiver for ISDB. En: Proceedings of the IEEE;, Volumen 94, No. 1. 0018-9219; enero de 2006p. 323-326

[59] Serna M. "implantación de televisión digital en Colombia: estudio técnico y económico (Para el Estándar ATSC, Doc. A/53B: Revisión B con Enmiendas 1 y 2)". [Trabajo de grado]. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Santiago de Cali, 2005. 119 p.

[60] Jones G., Defilippis J., Hoffmann H. and Williams E. Digital Television Station and Network Implementation. En: Proceedings of the IEEE, Volumen 94. No. 1; 0018-9219; enero de 2006. p. 22-36

[61] Rodrigo V. Cómo funciona la TV Digital. [Sitio en Internet]. Ciencias Místicas: Área de Electrónica: Comunicaciones; 2007. Disponible en: <http://www.cienciasmisticas.com.ar/electronica/comunicaciones/itvdigital/index.php>

[62] Harris Corporation, Teledifusión de Datos, nuevas oportunidades para ecuación a distancia y envío de contenidos de banda ancha. 2002

[63] BCS Broadcast Store. [Sitio en Internet]. Disponible en: http://www.bcs.tv/store/prod_search_results.cfm?category_search=531

- [64] BCS Broadcast Store. [Sitio en Internet]. Disponible en: http://www.broadcaststore.com/store/prod_search_results.cfm?category_search=531
- [65] TV Pro Gear. Los Angeles, New York. [Sitio en Internet]. Disponible en: <http://www.tvprogear.com/>
- [66] ROHDE & SCHWARZ. R&S® SV8000 Transmitter/Retransmitter. [Sitio en Internet]. Disponible en: http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/broadcasting/product_categories/tv_transmitters/SV8000.html
- [67] Advanced Broadcasting Electronics. Productos de ABE. [Sitio en Internet]. Disponible en: <http://www.abe.it/online/productos.php>
- [68] Harris Corporation. Solutions for Broadcast Televisión: Transmission Digital (ATSC). [Sitio en Internet]. Disponible en: <http://www.broadcast.harris.com/television/transmission/atsc.asp>
- [69] SONY. Sony style USA. BRAVIA® Televisions. [Sitio en Internet]. Disponible en: <http://www.sonystyle.com/webapp/wcs/stores/servlet/CategoryDisplay?catalogId=10551&storeId=10151&langId=-1&categoryId=563>
- [70] Radio & Telly. Freeview Info. Freeview Set-top boxes. [Sitio en Internet]. Disponible en: <http://www.radioandtelly.co.uk/freeviewboxes.html>
- [71] Wikipedia The Free Encyclopedia. SBTVD. [Sitio en Internet]. Disponible en: <http://en.wikipedia.org/wiki/SBTVD>
- [72] The Digital Terrestrial Televisión Action Group. Analogue Switch-off Strategies to end analogue terrestrial television in Europe. Versión 1.1. Geneva, Switzerland: Digital Terrestrial Television Action Group DigiTAG; 2006. 20 p. Disponible en: <http://www.digitag.org>
- [73] Moore L. Public Safety, Interoperability and the Transition to Digital Television. CRC Report for Congress. Washington: Congressional Research Service, The Library of Congress; 18 de abril de 2005. 13 p
- [74] Kruger L. The Digital TV Transition: A Brief Overview. CRC Report for Congress. Washington: Congressional Research Service, The Library of Congress; 12 de agosto de 2005. 6 p. Order Code RS2217

[75] Kruger L. Digital Television: An Overview. CRC Report for Congress. Washington: Congressional Research Service, The Library of Congress; 22 de agosto de 2006. 48 p. Order Code RL31260

[76] Kruger L. The Digital TV Transition: A Brief Overview. CRC Report for Congress. Washington: Congressional Research Service, The Library of Congress; 12 de agosto de 2005. 6 p. Order Code RS2217

[77] Cruz M., Rupin P., Valdivia A. Situación de la televisión digital en el mundo e implicancia en Chile. Santiago de Chile: Consejo Nacional de Televisión; 2006. 92 p.

[78] Advanced Television System Comité ATSC. La norma Noticias de ATSC. México adopta norma ATSC para la televisión digital: ATSC – La opción para América del Norte. Noticias del volumen cinco de ATSC, tercera edición, septiembre de 2004. p. 1-2

[79] Secretaría de Comunicaciones y Transportes México. Períodos Trianales para la Transición a la TDT. [Sitio en Internet]. Disponible en: <http://dgsrt.sct.gob.mx/index.php?id=494>

[80] DVB Project. Taiwan: Latest [Sitio en Internet]. Disponible en: http://www.dvb.org/about_dvb/dvb_worldwide/taiwan/

[81] Revista CINTEL Septiembre 2006

[82] Franco O. SBTVD-T Sistema brasileño de Televisión Digital Terrestre: Basado en ISDB-T (Japón). En: Conferencia “Antecedentes y la implementación en Brasil del ISDB-T”. Jornada especial sobre TV Digital Estándar ISDB-T (22 de junio de 2007: Buenos Aires). Universidad de Palermo; 2007. 34 diapositivas. Se encuentra en: http://www.palermo.edu/ingenieria/eventos_noticias/jornada_especial.html

[83] Castellanos M. El Plan de Acción Regional para una Sociedad de la Información inclusiva. Grupo de Trabajo sobre Tecnologías Alternativas. Bogotá: Ministerio de Comunicaciones República de Colombia; 16 de agosto de 2007. 31 diapositivas. Disponible en: <http://www.mincomunicaciones.gov.co>

[84] Galán R. ¿Hacia dónde va la tv colombiana? En: Congreso Nacional y Andino de Telecomunicaciones ANDICOM 2007 (XXII y XIII: oct 26, 2007: Cartagena de Indias). Conferencia: Proceso de adopción de televisión digital en Colombia... [50 min]. 21 diapositivas.

[85] Comisión Nacional de Televisión CNTV. Modalidades y Requisitos del servicio de televisión en Colombia. Bogotá: División de Comunicaciones y Prensa.; 2004. 49 p. Disponible en: <http://www.cntv.gov.co>

[86] Figueroa J. Informe Sectorial de Televisión. Comisión Nacional de Televisión [Informe]. Bogotá: Oficina de Planeación de CNTV; Junio de 2006 – N°1 Comisión Nacional de Televisión. Se encuentra en: <http://www.cntv.org.co>

[87] Comisión Interamericana de Telecomunicaciones CITEL. Guía de Implementación de Radiodifusión de televisión terrenal digital. Comité consultivo Permanente II. Referencia: CCP.II-RAD/DOC. 811/05 rev.2. Washington: Inter-American Telecommunication Commission; 2006. 79 p. Disponible en: http://www.conatel.gov.ec/website/gest_internacional/documentacion/citel/ccp_ii/gt_radiodifusion/guia_implementacion_radiodif_de_television_terrenal_digital.pdf
<http://citel.oas.org>

[88] Asociación Colombiana de Ingenieros ACIEM. Recomendaciones para la implementación de la televisión digital terrestre en Colombia. Bogotá; 2006, sep. 21 p.

[89] Figueroa J. Respuesta Proposición 21 de 2006. Carta al Doctor LUIS ALBERTO GIL CASTILLO, presidente de la Honorable Comisión Sexta Senado de la República. Bogotá, Colombia; 200. Referencia: 2006EE12710. Se encuentra en: <http://www.cntv.org.co>

[90] Ministerio de Comunicaciones República de Colombia. “Plan de Gobierno en TICs 2006-2010”. Bogotá: Ministerio de Comunicaciones; mayo de 2007

[91] COMISIÓN NACIONAL DE TELEVISIÓN CNTV. La televisión digital en el marco internacional y los avances en Colombia. En: RCT On line 2007-04-23 Tema Central, Colombia avanza hacia la televisión digital: Comisión Nacional de Televisión. 17 p. Edición No. 20 (Mayo 8 de 2007). ISSN 1692-1585. Se encuentra en: <http://www2.cintel.org.co/rctonline/noticia.php3?nt=5544&edicion=20>

[92] Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Especificaciones técnicas y protocolo de pruebas de campo de televisión digital terrestre [Documento]. Rev. 4.0; Lima: Comisión Multisectorial de TDT; 18 de septiembre de 2007. Disponible en: http://www.mtc.gob.pe/portal/tdt/docs/20070918_protocolo_pruebas_documento%20de%20Trabajo.pdf

ANEXO A

TABLA COMPARATIVA DE LOS TRES ESTÁNDARES PARA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE

Característica	ATSC	DVB-T	ISDB-T	OBSERVACIONES
Origen	ATSC (Advanced Television Systems Committee)	EBU (European Broadcasting Union) ETSI (European Telecommunications Standards Institute) CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization)	ARIB (Association of Radio Industries and Businesses) JCTEA (Japan Cable Television Engineering Association)	Cada uno de los estándares fue desarrollado por diferentes consorcios y grupos de expertos que buscaban la inclusión digital para las señales televisivas.
Estándar base de Estudio	Basado en el sistema NTSC, que buscaba mejorar la calidad del video y audio para la transmisión el canal de 6MHz	Basado en la Norma Europea para transmisión analógica PAL	Basado en el sistema MUSE para transmisión de señales de Alta Definición	Los tres estándares de TDT se basaron en un estándar analógico de transmisión de TV
Objetivo inicial de desarrollo	Inicialmente se desarrolló para ofrecer televisión de Alta Definición (HDTV)	Su desarrollo inicial buscaba ofrecer más canales de televisión en el mismo ancho de banda analógico, ofreciendo una norma estándar para las diversas plataformas de televisión.	Principalmente enfocado a la televisión móvil y transmisión de varios servicios, incluyendo datos, radio y televisión SDTV y HDTV	Actualmente los tres estándares han incorporado nuevas técnicas que han permitido desarrollar nuevos servicios y perfeccionar el sistema de transmisión inicial.
Sistema de Video	Frecuencia de	Formato 4:2:2. Utiliza	Formato 4:2:2. Utiliza	El mismo tipo de

	muestreo de 13.5 MHz para SDTV y 75MHz para HDTV. Formato 4:2:2 a 4:2:0.	cuantización de 8 bits	cuantización de 8 y 10 bits.	compresión de video es usado por los tres estándares y no presentan diferencias en cuanto a la codificación utilizada.
Codificación de Video	Main Profile @ High Level MPEG-2	MPEG-2. Main Profile @ Main Level. Y Main Profile @ High Level para señales HDTV en un decodificador de 30 Hz	MPEG-2. Main Profile @ Main Level. MP@ML, para resoluciones con 480 líneas verticales	
Formatos	SDTV HDTV, 720P HDTV, 1080i	SDTV, 576i HDTV, 720P HDTV 1080i	SDTV, 525P SDTV, 525i, HDTV, 1125i HDTV, 750P	Los tres estándares están en capacidad de transmitir señales SDTV y HDTV
Codificación de Audio	Dolby AC-3	MPEG-2. Capa 2	AAC MPEG-2	Transmisión de sonido envolvente sin diferencias relevantes para los estándares, en cuanto a calidad de la señal.
Sistema de múltiplex y Transporte	Utiliza flujos de transporte MPEG-2	Extensión de MPEG-2, agregando al paquete la "Información del Servicio, SI"	Utiliza flujos de transporte MPEG-2, adicionando un cuadro de múltiplex y descriptores TMCC	MPEG-2 norma para el servicio de múltiplex y transporte utilizada en DTV
Ancho de Banda del Canal	Estandarizado y aplicado a 6 MHz	Inicialmente 8 MHz, extendido a 7 y 6 MHz	Estandarizado para transmitir en bandas de 6, 7 y 8 MHz. Hasta el momento solo se ha aplicado a bandas de 6 MHz	ATSC e ISDB-T se han implementado utilizando un ancho de banda de 6 MHz. DVB-T se ha implementado en

				diversos países utilizando las tres modalidades de ancho de banda.
Velocidad de Transmisión de datos	8-VSB: 19,36 Mbps	8 MHz: 4,98 a 31,67 Mbps 7 MHz: 4,35 a 27,71 Mbps 6 MHz: 3,73 a 23,75 Mbps	8 MHz: 4,87 a 30,98 Mbps 7 MHz: 4,26 a 27,11 Mbps 6 MHz: 3,65 a 23,23 Mbps	DVB-T e ISDB-T presentan tasas de transmisión similares para los diferentes anchos de banda en los cuales operan. Las variaciones en la tasa de transmisión se deben a los esquemas de modulación empleados
Transmisión jerárquica	No utiliza modos de transmisión jerárquica	Transmite dos flujos jerárquicos, uno de alta prioridad y otro de baja prioridad.	Utiliza tres modos de transmisión jerárquica, permitiendo transmitir hasta tres servicios en el mismo flujo	Sólo los estándares DVB-T e ISDB-T utilizan transmisión jerárquica, permitiendo transmitir varios modos en una sola transmisión. La decisión de transmitir en flujos jerárquicos es decisión del operador de televisión.
Modulación	8-VSB (Para transmisión por aire) 16 VSB (Para	COFDM con portadoras de 8K (8192) o 2K (2048) y	CODFM dividida en trece segmentos, y	ATSC utiliza modulación 8-VSB

	transmisión por Cable)	moduladas con constelaciones QPSK, 16-QAM y 64-QAM	en cada uno de ellos, cada portadora es modulada en 64-QAM, 16-QAM ó QPSK	mientras que DVB-T e ISDB-T utilizan modulación COFDM con modos de transmisión jerárquicos diferentes en cada uno de ellos
Bandas de frecuencia de transmisión	Los tres estándares utilizan las bandas de VHF y UHF para la transmisión terrestre de televisión digital.			
Servicios	Los tres estándares transmiten básicamente los mismos servicios entre los cuales están la posibilidad de Selección de idioma y subtítulos. Servicios interactivos y acceso a Internet. PPV (Pay Per View). Teletexto Digital. EPG (Electronic Program Guide). Visión multicamara. Votaciones			
Multitrayectoria	Se requiere de un ecualizador en el receptor para revertir la distorsión multitrayectoria de la señal recibida.	La modulación COFDM permite mayor inmunidad a efectos multitrayectoria	La propiedad de COFDM segmentado utilizado por ISDB-T debilita la inmunidad a multitrayectoria	El sistema DVB-T presenta el mejor desempeño a efectos por multitrayectoria.
Operación en Redes de SFN	ATSC especifica la operación en Redes de Frecuencia única utilizando el concepto de transmisión distribuida. Involucra el uso de un canal de distribución aparte para alimentar cada transmisor.	La sincronización se logra empleando información de temporización específica en la cabecera de la red y los transmisores lo sincronizan mediante GPS	Su implementación es muy compleja. Realiza el sincronismo con la frecuencia de transmisión y la frecuencia de muestreo de la IFFT	ATSC está recientemente implementando las SFN. Para DVB-T e ISDB-T, las SFN es una característica y ventaja de los estándares
Operación para terminales móviles	Se encuentra actualmente en estudio la norma de ATSC que permita la recepción en	Utiliza la norma DVB-H compatible con DVB-T para transmisión y recepción en	ISDB-T se basa en la recepción parcial utilizando uno de sus modos de	La recepción móvil es una característica de ISDB-T. DVB-T utiliza otro estándar

	terminales móviles	terminales móviles. Agrega algunas etapas adicionales al sistema de transmisión	transmisión para permitir la recepción móvil.	para permitir este tipo de servicio. ATSC se encuentra trabajando en la compatibilidad con receptores móviles
Países donde se ha implementado	Estados Unidos, Canadá, México, Honduras, Guatemala	Ha sido implementado en 58 países, entre los cuales se encuentran Hong Kong, Singapur, Taiwan, Vietnam, Australia y la mayoría de ellos Europeos	Japón. Brasil ha implementado la norma ISDB-T con una modificación en el esquema de compresión	DVB-T es el estándar que más se ha implementado en el mundo con operación en bandas de 6, 7 y 8 MHz.

ANEXO B

ATRIBUCIÓN DE BANDAS DE FRECUENCIA PARA RADIODIFUSIÓN DE TELEVISIÓN EN COLOMBIA

Banda VHF

30,0		50,0		54,0		72,0		76,0		86,0		108,0		117,95	
FIJO CO CV	AFICIONADOS AT	RADIODIFUSIÓN TELEVISIÓN BT					RADIODIFUSIÓN TELEVISIÓN BT		RADIODIFUSIÓN SONORA BC			RADIONAVEGACION AERONÁUTICA CO	MÓVIL AERONÁUTICO (R) CO		
MOVIL CO-CV		RADIODIFUSIÓN TELEVISIÓN BT					RADIODIFUSIÓN TELEVISIÓN BT		RADIODIFUSIÓN SONORA BC			RADIONAVEGACION AERONÁUTICA CO	MÓVIL AERONÁUTICO (R) CO		
30 MHz															173 MHz

137,0		150,05		162,05		174,0		216,0		273,0		
		FIJO CV-CP-CO		FIJO CV-CP-CO		RADIODIFUSIÓN TELEVISIÓN BT			FIJO CV		FIJO CV-CP	
		MÓVIL CV-CO-CP		MÓVIL CV-CP-CO		RADIODIFUSIÓN TELEVISIÓN BT			VIL MA		MÓVIL CV-CP	
137 MHz												300 MHz

BANDA UHF

