



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**ANÁLISIS DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT), SUS TECNOLOGÍAS Y
COMPONENTES NECESARIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN GUATEMALA**

Juan Carlos Pineda Guerra

Asesorado por el Ing. Marco Antonio Mendoza Leonardo

Guatemala, agosto de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT), SUS TECNOLOGÍAS Y
COMPONENTES NECESARIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JUAN CARLOS PINEDA GUERRA

ASESORADO POR EL ING. MARCO ANTONIO MENDOZA LEONARDO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, AGOSTO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Peñate
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT), SUS TECNOLOGÍAS Y COMPONENTES NECESARIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 13 de octubre de 2014.



Juan Carlos Pineda Guerra

Guatemala, 01 de Junio de 2015

Ingeniero Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad San Carlos de Guatemala
Su Despacho

Estimado Ingeniero Guzmán:

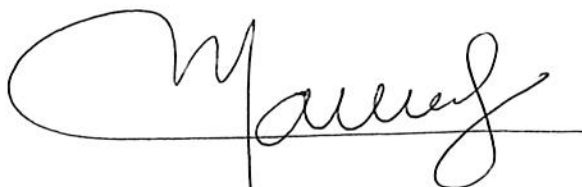
Por medio de la presente, me complace informarle, que ha sido concluido de manera satisfactoria el Trabajo de Graduación: **“ANÁLISIS DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT), SUS TECNOLOGÍAS Y COMPONENTES NECESARIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN GUATEMALA”**, asesorado por mi persona y elaborado por el estudiante, **Juan Carlos Pineda Guerra**, de la carrera de **INGENIERÍA ELECTRÓNICA**.

En la calidad de asesor, considero que el presente trabajo elaborado por el estudiante, cumple con los objetivos propuestos en el anteproyecto del Trabajo de Graduación.

Por lo tanto, luego de realizar las revisiones correspondientes, cumplir con todos los requisitos y lograr los objetivos establecidos en el presente Trabajo de Graduación, lo apruebo y solicito su autorización, en el entendido de que el autor y el suscrito son los responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Y para los usos que al interesado convenga, extiendo, firmo y sello la presente el 01 de junio de 2015.

Atentamente,



Ing. Marco Antonio Mendoza Leonardo
Ingeniero Eléctrico y Electrónico
Colegiado No. 5554





Ref. EIME 35. 2015

Guatemala, 4 de JUNIO 2013.

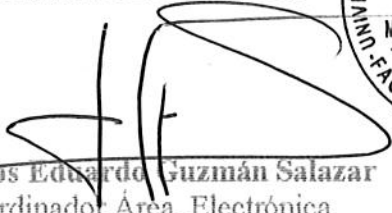
Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**ANÁLISIS DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT),
SUS TECNOLOGÍAS Y COMPONENTES NECESARIOS PARA
LA IMPLEMENTACIÓN EN GUATEMALA,** del estudiante
Juan Carlos Pineda Guerra, que cumple con los requisitos establecidos
para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador Área Electrónica



SFO



REF. EIME 35. 2015.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; JUAN CARLOS PINEDA GUERRA titulado: ANÁLISIS DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT), SUS TECNOLOGÍAS Y COMPONENTES NECESARIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN GUATEMALA, procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Román

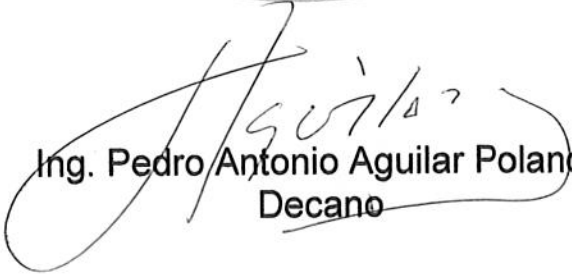


GUATEMALA, 7 DE JULIO 2,015.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT), SUS TECNOLOGÍAS Y COMPONENTES NECESARIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Juan Carlos Pineda Guerra**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, agosto de 2015

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Sobre todas las cosas.
Mis padres	Lidia Guerra y Nicolás Pineda (q. e. p. d.), quienes siempre me dieron el apoyo y buenas enseñanzas en todo momento de la vida.
Mis hermanos	Sandra, Lucía, Flor, Daniel y Héctor Pineda Guerra, por todo su apoyo y compañía.
Mi novia	Alejandra Briceño, compañera incondicional.
Mis amigos y compañeros	Por los momentos que estuvimos estudiando y compartir su amistad.
Universidad San Carlos de Guatemala	Templo de enseñanza y sabiduría que llevaré en mi corazón por siempre.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Fuerza creadora del universo.
Mi familia	Por todo su apoyo.
Mis catedráticos	Por mi formación.
Mis amigos y compañeros	Por su apoyo, paciencia y amistad.
Ing. Marco Mendoza	Asesor del presente trabajo de graduación por su valiosa asesoría, compartir sus conocimientos, y por el apoyo brindado para la culminación de mi carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. CONCEPTOS GENERALES DE TELEVISIÓN.....	1
1.1. Televisión analógica	2
1.2. Televisión digital	11
1.3. Digitalización	15
1.3.1. Producción.....	19
1.3.2. Transmisión	27
1.3.3. Recepción.....	35
1.4. Formatos	39
1.5. Codificación digital.....	47
1.5.1. Códec	48
1.5.2. Codificación de televisión digital	49
2. PLATAFORMAS DE TELEVISIÓN DIGITAL.....	55
2.1. Televisión digital por cable	55
2.2. IPTV protocolo de televisión IP.....	58
2.3. Televisión por satélite	59
2.3.1. Historia	59
2.3.2. Funcionamiento	61

2.4.	Televisión digital terrestre (TDT)	62
2.4.1.	Características	62
2.4.1.1.	Ancho de banda	65
2.4.1.2.	Imagen y sonido	69
2.4.1.3.	Emisiones de televisión	71
2.4.1.4.	Servicios adicionales	73
3.	TECNOLOGÍA DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE	75
3.1.	Tecnología de la televisión digital terrestre (TDT)	75
3.2.	Comité Ejecutivo de los Sistemas de Televisión Avanzada (ATSC)	76
3.3.	Radiodifusión de video digital terrestre (DVB-T)	80
3.4.	Norma de radiodifusión digital (DMB-T/H).....	86
3.5.	Norma de televisión digital originada en Japón (ISDB-T).....	89
3.5.1.	Transmisión de codificación del canal.....	90
3.5.1.1.	Codificación de corrección de error	96
3.5.1.2.	Intervalo de protección	100
3.5.1.3.	Interpolación.....	106
3.5.1.4.	Dominio de la frecuencia multiplexada	110
3.5.2.	Acceso condicional.....	113
3.5.3.	Transmisión de datos	116
3.5.4.	Información de servicios.....	118
3.5.5.	Multiplexación.....	120
3.5.6.	Codificación de audio	121
3.5.7.	Codificación de video	123
4.	TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN GUATEMALA	125
4.1.	Infraestructura de la televisión actual en Guatemala	125

4.2.	Ente regulador (SIT)	127
4.3.	Principales parámetros para establecer un estándar de TDT	134
4.4.	Desafío para la implementación de TDT	135
5.	COMPONENTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN GUATEMALA.....	139
5.1.	Beneficios de la TDT	139
5.2.	Componentes necesarios para la recepción.....	142
5.3.	Componentes necesarios para la transmisión.....	150
5.4.	La telefonía y la televisión digital	162
	CONCLUSIONES	167
	RECOMENDACIONES.....	169
	BIBLIOGRAFÍA.....	171

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Señal de audio digital.....	14
2.	Transmisiones de la señal de televisión.....	15
3.	Esquema de un conversor analógico/digital.....	16
4.	Muestreo ideal.....	17
5.	Espectro de la señal muestreada.....	18
6.	Convergencia.....	21
7.	Transmisiones microondas.....	29
8.	Líneas de transmisión coaxiales.....	32
9.	Diagrama de bloque del sistema de transmisión.....	34
10.	Diagrama de bloque del sistema de recepción.....	37
11.	Televisión digital por cable.....	55
12.	Elementos de una red HCF.....	56
13.	Modelo de televisión digital IP.....	58
14.	Modelo de televisión digital por satélite.....	61
15.	Envío de información por medio de ondas hertzianas.....	63
16.	Modelo de televisión digital terrestre.....	64
17.	Ancho de banda televisión digital terrestre, frecuencia en el canal estándar de TV de 6 MHz.....	68
18.	Imagen y sonido.....	70
19.	Diagrama general del sistema DVB-T.....	82
20.	Diagrama general del sistema ISDB-T.....	90
21.	Señal sinusoidal de ejemplo.....	91
22.	Modulaciones QPSK, 16QAM y 64QAM.....	93

23.	Tasa en función de la razón de potencia de portadora a ruido	94
24.	Posicionamiento de la ventana FFT mediante la autocorrelación.....	101
25.	Inserción del intervalo de guarda.....	103
26.	Señal directa y reflejada	103
27.	Interleaving en el dominio del tiempo.....	105
28.	Vistas disponibles en la interpolación	106
29.	Diagrama de relación entre la modulación y las longitudes	111
30.	Sistema de una sola frecuencia.....	112
31.	Plataformas acceso condicional	113
32.	Sistema de clave secreta o simétrica.....	114
33.	Sistema de clave pública o asimétrica	115
34.	Concepto multiplexado	121
35.	Extracto de la TNAF (gráfica)	130
36.	Países que transitaron y están en proceso de transición a la TDT	136
37.	Comparación de televisión digital terrestre/televisión analógica.....	140
38.	Sistema de recepción.	142
39.	El set–Top Box.....	143
40.	Antena de recepción dipolo	145
41.	Antena de recepción dipolo doblado.....	146
42.	Equivalencia de un dipolo y un monopolo y distintos monopolos	147
43.	Antena Yagi	148
44.	EL futuro del hogar digital	149
45.	Arquitectura básica de un transmisor.....	152
46.	Sistema transmisor de amplificación separada.....	154
47.	Sistema transmisor de amplificación común.....	155
48.	Estructura general del sistema de transmisión	159
49.	Transmisión local de televisión	160
50.	Estructura de una red de transmisión terrestre.....	162

51.	Flexibilidad en el uso de los 13 segmentos de 429 KHz 13 segmentos de datos x 429 KHz + 429 KHz de guarda.....	163
52.	Comparación de barridos entrelazado y progresivo	164

TABLAS

I.	Resolución de pantalla, formatos de compresión permitidos	79
II.	Perfiles y niveles	80
III.	Velocidades de información con diferentes modulaciones.....	84
IV.	Distancia máxima entre transmisores en redes SFN	84
V.	Establecimiento de la TV digital en EUA y Europa.....	88
VI.	Formatos de transmisión en ISDB-T	116
VII.	Bandas de frecuencias reconocidas.....	128
VIII.	Nombre bandas de frecuencias reconocidas	129
IX.	Requerimientos en Guatemala para la transmisión de la TDT.....	134
X.	Parámetros de transmisión de OneSeg	165

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
PLUGE	Equipo de generación de señal de ajuste de imagen.
UHF	Frecuencia ultra alta
GOP	Grupo de imágenes
DSL	Línea de abonado digital
PAL	Línea de fase alternada
PCM	Modulación por impulsos codificados
VHF	Muy alta frecuencia
DLP	Procesado digital de luz
VHS	Sistema de vídeo en el hogar
IDTV	Televisión de definición mejorada
DTH	Televisión directa al hogar
CRT	Tubo de rayos catódicos

GLOSARIO

A/D	Conversión de señales analógicas a digitales, normalmente para su utilización posterior en un equipo digital.
ADSL	Línea de suscriptor digital asimétrica. Permite transportar datos y voz empleando la línea telefónica convencional.
Analógico	Una señal que varía continuamente representando fluctuaciones de color y brillo.
Ancho de banda	La cantidad de información que puede transmitirse en un momento dado.
Antena	Dispositivo diseñado con el objetivo de emitir o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre.
Antena parabólica	Recibe la señal que se emite desde el satélite y la hace llegar hasta el usuario.
API	Aplicación de programación necesaria para el desarrollo de servicios interactivos asociados a la televisión.

ATSC	Grupo encargado del desarrollo de los estándares de la televisión digital en los Estados Unidos de América.
Banda ancha	Canales de comunicación, cuya velocidad de transmisión es muy superior a la de un canal de banda vocal. Se aplica a velocidades superiores a 250 Kbits.
Barrido	Nombre dado a una de las técnicas fotográficas utilizadas para reflejar el movimiento en una imagen. Recibe el nombre de la sensación que produce y del movimiento realizado con la cámara. En los barridos el elemento en movimiento aparece nítido (o ligeramente borroso), y lo difuminado o movido son los elementos estáticos.
BBC	Corporación Británica de Radiodifusión.
Bit	Unidad mínima de información. Un bit se representa por la presencia o la ausencia de un impulso electrónico (0 o 1 en el código binario).
<i>Broadcaster</i>	Empresas públicas o privadas que emiten señales de televisión de libre recepción o pagada, creado por ellos mismos o comprados a terceros. Es decir, canales de televisión terrestre que utilizan un bien público, como el espectro radioeléctrico.

Cable coaxial	Cable con dos conductores de cobre, uno dentro del otro, separados entre sí y del exterior con aislante plástico. Se utiliza para la antena de la TV o en conexiones Ethernet.
Cable módem	Unidad de módem que se puede conectar al televisor u ordenador a través de la conexión local de cable, para acceder a internet a una velocidad muy superior a la de los módem tradicionales.
Caleidoscopio	Tubo que contiene varios espejos en ángulo y pedacitos de cristal irregulares; al mirar por uno de sus extremos se ven combinaciones simétricas que varían cuando se gira el tubo.
Campo	Cada uno de los barridos entrelazados del haz de electrones usados para formar la imagen en un tubo de rayos catódicos.
CIF	Formato normalizado utilizado para la compatibilización de video digital.
Convergencia	Capacidad de diferentes plataformas de red de transportar tipos de servicios similares o aproximación de dispositivos de consumo, como el teléfono, televisión y ordenador personal.
Decodificador	Dispositivo o programa capaz de interpretar los datos almacenados en un determinado formato y traducirlos a otro.

Digital	Se usa para producciones televisivas digitales de alta calidad.
DVB-C	Sistema de transmisión digital de televisión por cable basada en el estándar europeo ETS 300 429, de diciembre de 1994.
DVB-S	Sistema que permite incrementar la capacidad de transmisión de datos y televisión digital a través de un satélite UH11 usando el formato MPEG2. La estructura permite mezclar en una misma trama un gran número de servicios de vídeo, audio y datos.
DVB-T	Estándar europeo para la transmisión de TVD por diversos medios, terrestre, satelital y cable. Norma de TDT originada en la Unión Europea.
DMB-T/H	Norma de radiodifusión digital, originada en China para la difusión de TV, sonora o de contenidos multimedia a dispositivos fijos, portátiles y móviles.
FCC	Comisión Federal de Comunicaciones.
Fluctuación	Variación en el retardo de los paquetes cuando cruzan la red que se caracteriza por ofrecer una calidad de vídeo forzada..

HDTV	Uno de los formatos que se caracteriza por emitir señales televisivas en una calidad digital superior a los sistemas tradicionales analógicos de televisión en colores.
ISDB-T	Norma de televisión digital originada en Japón.
Luminóforo	Tiene la propiedad de fluorescencia, lo que significa que emite luz visible cuando es iluminado por luz.
Magnetoscopio	Aparato utilizado para grabar imágenes en movimiento en cinta magnética.
MPEG-2	Designación para un grupo de estándares de codificación de audio y vídeo acordado por MPEG. MPEG-2, por lo general es usado para codificar audio y vídeo para señales de transmisión, que incluyen televisión digital terrestre, por satélite o cable.
NBC	Compañía Nacional de Radiofusión.
NTSC	Comisión Nacional de Sistemas de Televisión.
Pixel	Es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital, ya sea esta una fotografía, un fotograma de vídeo o un gráfico.

SDI	Es un interfaz de alta capacidad para trabajar con vídeo digital sin comprimir y en tiempo real.
SDTV	Acrónimo que reciben las señales de televisión que no se pueden considerar señales de alta definición ni de señal de televisión de definición mejorada.
SBTVD-T	Sistema brasileiro de televisión digital terrestre, es la norma de TV digital originada en Brasil, basada en mejoras a la Norma ISDB-T japonesa adoptada en Guatemala.
<i>Set top box</i>	Caja decodificadora o convertidora de las señales digitales terrestres. Permite anexarla al televisor analógico para recibir transmisiones digitales.
Sincronía	Termino que se refiere a coincidencia en el tiempo o simultaneidad de hechos o fenómenos.

Sintonizador	Mecanismo de que va provisto un aparato receptor para permitir aumentar o disminuir la longitud de onda con el fin de sintonizar con el aparato emisor.
S-VHS	Súper VHS es una versión mejorada del estándar VHS para grabadoras de casetes de los consumidores de vídeo.
Trama	Conjunto de líneas que forman la imagen.
TV análoga	El sistema de TV de hoy, que utiliza ondas de radiofrecuencia para transmitir y presentar la imagen y el sonido.
TDT	Nueva generación de la televisión que en los próximos años sustituirá la televisión analógica actual en el mundo entero. Cuya transmisión se realizará por los sistemas de radiodifusión terrenos. Utilizando antenas situadas en la superficie de la Tierra.
16:9	Forma de expresar la relación de aspecto de los modernos televisores panorámicos de pantalla ancha. Se utiliza en el PAL plus y en la televisión digital en modo HDTV. Es la proporción de aspecto del televisor de pantalla ancha que se parece más a una pantalla de cine que a la de un televisor tradicional.

4:3

Es la proporción de aspecto de la televisión tradicional, es decir el ancho de pantalla en relación a su altura.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación describe las tecnologías utilizadas para el mejoramiento de la transmisión de información a través de redes de telecomunicaciones, aprovechando el espectro radioeléctrico para los servicios de telecomunicaciones, incluyendo la parte del servicio de televisión terrestre radiodifundida.

En la actualidad, la transformación global de este servicio, en el que la televisión digital representa una revolución en la transmisión de programas junto a una gran flexibilidad en los contenidos emitidos y con la digitalización de la televisión, se incrementa la calidad de imágenes, en el sonido se aprecia su profundidad y claridad. Se logra el mejor aprovechamiento del espectro, se optimizan los costos de distribución y recepción para los operadores, se accede a una gama de nuevos servicios adicionales y es posible la recepción en exteriores e interiores e inclusive con características de poder recibir en equipos portátiles y móviles.

Pensando en un futuro, el desarrollo de la televisión digital terrestre posibilitará el acceso de los sectores de población de escasos recursos a redes y servicios de telecomunicaciones ya establecidos o por establecer, a los cuales no es posible acceder.

En el capítulo inicial se incluye una reseña histórica de la televisión análoga, se narra sus características, una introducción a la televisión a color y las ventajas de la televisión digital y su digitalización.

En el siguiente capítulo se hace un análisis de las plataformas digitales de la televisión, características y beneficios de las grandes gamas que ofrecen los diferentes sistemas de radiodifusión televisiva. Se analiza la televisión digital por cable, por satélite y con la terrestre.

En el capítulo tres se analiza la tecnología con base en los estándares de televisión digital terrestre dominantes, universales en este servicio. Se representan las características técnicas generales de los estándares americanos, ATSC (Advance Televisión System Committee), europeo, DVB_T (Digital Video Broadcasting Terrestrial), japonés y su derivación brasilera, ISDB-T (Integrated Service Digital Broadcasting Terrestrial) y chino, DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting). Con un enfoque al sistema que Guatemala decidió implementar, el ISDB_Tb.

En el cuarto capítulo se explica la situación actual de la televisión en Guatemala, su infraestructura, sus desafíos y las normas que el Estado debe regular (ente regulador SIT).

En el quinto capítulo se narran los beneficios de la televisión digital terrestre (TDT), sus componentes necesarios tanto para la recepción como para la transmisión, y por último, se da un breve análisis de la telefonía y la televisión digital.

Estos capítulos están acompañados de tablas, figuras ilustrativas y anexos que soportan toda la documentación contenida en este documento

OBJETIVOS

General

Realizar el análisis de la televisión digital terrestre, sus tecnologías y componentes necesarios para la implementación en Guatemala.

Específicos

1. Describir los conceptos generales sobre la televisión, dando un mayor enfoque a la televisión digital.
2. Señalar los fundamentos principales de las plataformas de la televisión digital.
3. Describir las tecnologías basadas en los estándares de televisión digital terrestre.
4. Presentar la normativa de la televisión digital terrestre en Guatemala, para establecer un estándar a implementar.
5. Dar a conocer los componentes necesarios para la implementación de la televisión digital terrestre en Guatemala.

INTRODUCCIÓN

El auge que ha tenido el campo de la electrónica ha permitido el uso de algoritmos de control en equipos destinados a un sin número de tareas. Actualmente la televisión digital es el cambio tecnológico más importante desde la migración de la televisión en blanco y negro a la de color. La televisión digital terrestre (TDT) es la transmisión de imágenes en movimiento y su sonido asociado (televisión) mediante una señal digital (codificación binaria), y a través de una red de repetidores terrestres; este avance de la televisión actual, que pasará en Guatemala de ser analógica a digital, permitirá a los usuarios finales disfrutar mejores contenidos, mayor calidad de imagen y sonido, alta definición y servicios avanzados.

La implementación en Guatemala trae consigo la adquisición de nuevos equipos que servirán tanto para la transmisión como para la recepción, la codificación digital de la información aporta diversas ventajas, entre ellas cabe destacar, en primer lugar, la posibilidad de comprimir la señal, se puede efectuar un uso más eficiente del espectro radioeléctrico.

El número de programas transmitidos en cada canal múltiple dependerá del ratio de compresión empleado, por otro lado, se puede dedicar el espectro sobrante para otros usos. La compresión, también ha hecho viable la emisión de señales de televisión en alta definición (HD, *high definition*), que requieren un ancho de banda mayor que la de definición estándar.

Las señales analógica y digital, ambas son electromagnéticas, de la misma naturaleza, y susceptibles de ser distorsionadas por campos eléctricos o

magnéticos, por las condiciones meteorológicas, entre otros. La diferencia, como se ha expuesto, radica en la manera de codificar la información. La codificación digital sigue algoritmos lógicos que permiten, posteriormente, identificar y corregir errores.

1. CONCEPTOS GENERALES DE TELEVISIÓN

El servicio de la televisión analógica es el sistema que se ha empleado desde el inicio de las emisiones de televisión. Basado en la utilización de ondas magnéticas para transmitir y mostrar imágenes y sonidos.

La televisión, fue sin duda, uno de los grandes inventos del siglo XX y significó el fruto del esfuerzo durante décadas de muchos ingenieros y científicos en el mundo. Los primeros televisores en blanco y negro aparecieron en la década de 1930, con el invento de los tubos de rayos catódicos en los que un rayo de electrones barre una pantalla de fósforo de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo para luego regresar a la línea superior. El rayo de electrones es modulado por el brillo o luminosidad de la imagen, lo que produce el efecto de diferentes tonalidades de gris.

En la década de 1950, ingenieros en diversos lugares del mundo diseñaron formas alternativas de agregar la información de color a la señal, pero manteniéndola siempre compatible con los receptores de blanco y negro. Fue así como se crearon tres diferentes estándares mundiales para transmitir la señal de color: el estadounidense NTSC (National Television System Committee), el europeo PAL (Phase Alternation Line Rate) y el sistema francés-soviético SECAM (Séquentiel Couleur Avec Mémoire) (F.P.Miller, Broadcast Television Systems, 2009).

Luego de incluir la señal de color, hubo que bajar la tasa levemente de 60 a 59,94 cuadros por segundo de manera de evitar la formación de puntos sobre

la pantalla producida por la leve diferencia de frecuencia entre la señal de color y la de audio.

1.1. Televisión analógica

Las primeras pruebas de transmisión de imágenes a distancia se realizaron mediante la electricidad y sistemas mecánicos. La electricidad hacía de medio de unión entre los puntos y servía para realizar la captación y la recepción de imágenes; los medios mecánicos efectuaban las tareas de movimientos para realizar los barridos y descomposición secuencial de la imagen a transmitir. En 1884 aparecieron los primeros sistemas de transmisión de dibujos, mapas escritos y fotografías llamados telefotos. En estos primeros aparatos se utilizaba la diferencia de resistencias para realizar la captación.

El desarrollo de las células fotosensibles de selenio, en donde su resistividad varía según la luz que incide en ellas, este sistema se perfeccionó hasta el punto que en 1926 se estableció un servicio de transmisión de telefotografía entre Londres y Nueva York. Las ondas de radio pronto sustituyeron a los cables de cobre, aunque nunca llegaron a eliminarlos por completo, sobre todo en los servicios punto a punto.

La imagen en movimiento es la característica de la televisión. Los primeros fueron realizados por los franceses Rionoux y Fournier en 1906. Estos desarrollaron una matriz de células fotosensibles que conectaban, al principio una a una con otra matriz de lamparillas. A cada célula del emisor le correspondía una lamparilla en el receptor. Pronto se sustituyeron los numerosos cables por un único par. Para ello se utilizó un sistema de conmutación que iba poniendo cada célula en cada instante en contacto con cada lámpara. El problema fue la sincronización de ambos conmutadores,

también, la velocidad a la que debían de girar para lograr una imagen completa que fuera percibida por el ojo como tal. En 1884, Paul Nipkow diseña y patenta el llamado disco de Nipkow. En 1910, este disco fue utilizado en el desarrollo de los sistemas de televisión de los inicios del siglo XX y en 1925, el 25 de marzo, el inventor escocés John Logie Baird efectúa la primera experiencia real utilizando dos discos, uno en el emisor y el otro en el receptor, que estaban unidos al mismo eje para que su giro fuera síncrono y separados 2 metros, se transmitió una cabeza de un maniquí con una definición de 28 líneas y una frecuencia de cuadros de 14 por segundo. En 1927, Baird transmitió una señal a 438 millas a través de una línea de teléfono entre Londres y Glasgow.

En 1928, Baird fundó la compañía Baird TV Development Co para explotar comercialmente la TV. Esta empresa consiguió la primera señal de televisión transatlántica entre Londres y Nueva York. En ese mismo año, Paul Nipkow ve en la exposición de radio de Berlín un sistema de televisión funcionando perfectamente, basado en su invento con su nombre al pie del mismo. En 1929 comienzan las emisiones regulares en Londres y Berlín basados en el sistema Nipkow Baird, y que se emitía en banda media de radio.

En 1937 comenzaron las transmisiones regulares de TV electrónica en Francia y en el Reino Unido. Esto llevó a un rápido desarrollo de la industria televisiva y a un acelerado aumento de telespectadores, aunque los televisores eran de pantallas pequeñas y muy caras. Estas emisiones fueron posibles por el desarrollo de los siguientes elementos en cada extremo de la cadena. La implementación del llamado tubo de rayos catódicos o tubo de Braun, por S. Thomson en 1895 fue un precedente que tendría gran trascendencia en la televisión, si bien no se pudo integrar debido a las deficiencias tecnológicas, fue hasta entrado el siglo XX y que perdura en la primera mitad del XXI.

Desde los comienzos de los experimentos sobre los rayos catódicos hasta que el tubo se desarrolló lo suficiente para su uso en la televisión. Las investigaciones de Wehnelt, que añadió su cilindro, los perfeccionamientos de los controles electrostáticos y electromagnéticos del haz, con el desarrollo de las llamadas lentes electrónicas de Vichert y los sistemas de deflexión, permitieron que el investigador Holweck desarrollara el primer tubo de Braum destinado a la televisión. Para que este sistema trabajara correctamente se tuvo que construir un emisor especial, este lo realizó Belin, el cual estaba basado en un espejo móvil y un sistema mecánico par el barrido.

Una vez resuelto el problema de la presentación de la imagen en la recepción, quedaba por resolver el de la captación en el emisor. Los exploradores mecánicos frenaban el avance de la técnica de la TV. La primera imagen sobre un tubo de rayos catódicos se formó en 1911, en el Instituto Tecnológico de San Petersburgo y consistía en unas rayas blancas sobre fondo negro y fueron obtenidas por Boris Rosing, en colaboración con Zworrykin. La captación entrelazada mediante dos tambores de espejos (sistema Weiller) y generaba una exploración entrelazada de 30 líneas y 12,5 cuadros por segundo. Los transductores diseñados fueron la base para las cámaras de televisión. Estos equipos integran todo lo necesario para captar una imagen y transformarla en una señal eléctrica. La señal que contiene la información de la imagen más los pulsos necesarios para el sincronismo de los receptores, se denomina señal de video. Una vez que se produce dicha señal, esta se puede manipular de diferentes formas, hasta su emisión por la antena, la señal transducida de la imagen contiene la información de esta, pero es necesario para su recomposición, que haya un perfecto sincronismo entre la deflexión de exploración y la deflexión en la representación.

La señal de vídeo la componen la propia información de la imagen correspondiente a cada línea, en el sistema PAL son 625 y en el NTSC 525 por cada cuadro, agrupadas en dos grupos, las líneas impares y las pares de cada campo, a cada uno de estos grupos de líneas se les denomina campo (en el sistema PAL se usan 25 cuadros por segundo y en el sistema NTSC 30). A esta información hay que añadir la de sincronismo, tanto de cuadros de línea, siendo esto vertical como horizontal. Al estar en el cuadro dividido en dos campos se tiene por cada cuadro un sincronismo vertical que señala el comienzo y el tipo de campo, es decir, cuando empieza el campo impar e inicia el campo par. Al comienzo de cada línea se añade el pulso de sincronismo de cada línea horizontal.

La codificación de la imagen se realiza entre 0V para el negro y 0,7V para el blanco. Para los sincronismos se incorporan pulsos de -0,3V, lo que da una amplitud total de la forma de onda de video de 1V. Los sincronismos verticales están constituidos por una serie de pulsos de 0,3V que proporcionan información sobre el tipo de campo e igualan los tiempos de cada uno de ellos. El sonido, llamado audio, es tratado por separado en toda la cadena de producción y luego se emite junto al video en una portadora situada al lado de la encargada de transportar la imagen.

El desarrollo de la televisión no se detuvo con la transmisión de la imagen y el sonido. Pronto se vio la ventaja de utilizar el canal para dar otros servicios. En esta filosofía se implementó, a finales de los años 80 del siglo XX, el teletexto que transmite noticias e información en formato texto utilizando los espacios libres de información de la señal de video. También se implementaron sistemas de sonido mejorado, naciendo la televisión en estéreo o dual y dotando al sonido de una calidad excepcional, el sistema que logró imponerse en el mercado fue el NICAM.

El desarrollo de la tecnología y los diferentes estudios realizados llevan a la televisión a colores, nuevamente el conflicto entre compatibilidad que el público requería de los aparatos. Los intereses económicos de las grandes compañías presionaron fuertemente para que se adoptase un sistema de color compatible a todos los aparatos. Aunque ciertamente fue la gran cantidad de televisores vendidos en aquel entonces (sobre los 10 millones), el hecho motivó el acuerdo de desarrollar una televisión color permanente compatible. Sin embargo, llegaron los problemas con la doble compatibilidad directa e inversa, es decir, que una señal en color se viera en TV en blanco y negro y en una señal B/N se viera en un televisor a color. Al final, el sistema de compatibilidad se logró, adoptado desde 1953, el nombre del comité regulador, conocido como sistema NTSC.

Finalmente, el proceso para la formación de imágenes de televisión comienza con la captura de imágenes por medio de la cámara, esta procesa la imagen eléctricamente y entrega una señal de video compuesto. El video compuesto es necesario para la transmisión de señales de televisión y está formado por la información de luminancia, crominancia y por parámetros de sincronía. La luminancia representa el brillo o la cantidad de luz en una imagen y la crominancia define el tinte (color) y la saturación de las imágenes (o intensidades de la misma). La señal de televisión se conforma por el video compuesto más la señal de audio. El sistema que se utiliza para la transmisión de televisión analógica en Guatemala es el NTSC (Comité Nacional de Servicios de Televisión). Una señal NTSC se compone básicamente por los siguientes elementos:

- Luminancia
- Crominancia
- Señal de audio

El sistema NTSC transmite 30 cuadros por segundo con 525 líneas de resolución cada uno, y para transmitir las señales NTSC por el cable coaxial, cada señal debe ser modulada individualmente sobre una portadora. La señal de video se modula en AM (modulación en amplitud) y el audio se modula en FM (modulación en frecuencia). Para transmitir una sola señal analógica NTSC, se necesita un ancho de banda de 6 MHz. Tan solo el video en banda base tiene un ancho de banda de 4,2 MHz. En el espacio de 6 MHz se localiza la componente de audio, la subportadora de color y dos espacios que funcionan como banda de guarda entre los otros canales adyacentes. La Norma NTSC ha especificado las señales de información de la siguiente forma:

- Luminancia (imagen): modulando en amplitud una portadora de 1,25 MHz y generando un ancho de banda de 4,2 MHz.
- Crominancia (color): modulando en cuadratura una subportadora separada 3,57 MHz de la portadora de luminancia (imagen).
- Sonido (audio): modulando en frecuencia una portadora separada 4,5 MHz de la portadora de luminancia (imagen).
- El ancho de banda total de una señal de televisión es de 6 MHz (señal en banda base).

Para recibir varios canales de TV en los receptores, las señales descritas se transportan en frecuencias RF más altas (proceso de modulación) generando los canales que usualmente se conocen como VHF y UHF.

Algunas de las ventajas y desventajas del estándar analógico NTSC de uso en Guatemala son las siguientes:

Ventajas:

- Posibilidad de manipulación técnica para visualización de la imagen a color.
- Reducción de parpadeos de imagen.
- Posibilidad de edición en cualquier punto límite de los campos sin distorsiones de color.
- Mejores características de relación señal a ruido.

Desventajas:

- Reducción de claridad en pantallas largas
- Deficiencias de luminancia (brillo de la imagen)
- Susceptible a intermitencias en recepción de audio
- Degradación de la señal y calidad de video
- Deficiencias de cobertura
- Mayor susceptibilidad a interferencias

Cualquier color visto por un ser humano puede ser descompuesto en tres colores básicos: azul, rojo y verde. El ingeniero francés Georges Valensi descubrió en 1938, una forma alternativa de representar un color en función de su luminancia o brillo y dos componentes cromáticos. Su invención permitió en la década de 1950, el nacimiento de la televisión a color, completamente compatible con su antecesora en blanco y negro, y permitió más tarde la creación del formato digital YUV, el más utilizado actualmente en la grabación y edición de video digital descomprimido.

Transmisión de una señal analógica: el sonido es un buen ejemplo de la señal analógica. Las diferencias de presión que produce una fuente sonora se propagan a través del aire formando ondas de presión que llegan hasta los oídos. Si se grafica la amplitud o volumen de estas ondas, como función del tiempo se notará que tendrán un nivel máximo y un mínimo y que absolutamente todos los valores que están entre un par de valores definidos aparecen en el gráfico también. Entonces se trata de una señal continua en el tiempo, esta señal no experimenta saltos abruptos en el transcurso del tiempo. Una señal electromagnética es también una señal continua. Su importancia en el área de telecomunicaciones radica en que conforma una excelente herramienta para transportar información entre puntos remotos.

Existen muchas técnicas de modulación, pero entre las más conocidas se pueden mencionar la modulación por amplitud (AM), por frecuencia (FM) y por fase (PM). Por último, la señal modulada que es transmitida debe ser demodulada y reconvertida a sonido en el extremo receptor.

Los problemas que se presentan en la transmisión de señales analógicas, fundamentalmente son dos: su gran susceptibilidad al ruido e interferencia y su ineficiencia en el uso del ancho de banda o espectro de frecuencias en el caso de radiocomunicaciones. Todo medio de propagación de señal eléctrica está expuesto a ruido y a interferencias. Por tal razón, el primer problema se origina en señales electromagnéticas producidas por toda clase de aparatos electrónicos, la atmósfera, el sol, entre otros.

El segundo problema se origina en comunicaciones que utilizan canales físicamente cercanos. Si el nivel de ruido es alto en el lado receptor, se escucharía un molesto sonido de fondo, en caso de que se trate de una comunicación telefónica. Si el nivel de interferencia es alto se podría escuchar

otra conversación de un canal contiguo. Este segundo problema está relacionado con lo que se conoce como entropía, este concepto está definido en teoría de la información como el nivel de incertidumbre asociado a una señal.

Entre más aleatoria o impredecible es una señal mayor entropía tiene. En teoría, toda información que no es aleatoria posee un nivel de entropía que permite comprimirla. Esto quiere decir, que entre menos aleatoria sea una señal, se podrá utilizar una menor cantidad de bits para representarla sin perder información. Lamentablemente los dos problemas asociados a una transmisión analógica son extremadamente difíciles de solucionar. Pero con el desarrollo de la electrónica se crearon unos chips especiales llamados conversores analógico digital. Su funcionamiento es muy simple: la señal analógica ingresa por un par de pines y la señal digital de N bits por cada muestra tomada sale por otros N pines en forma paralela o alternativamente por un par de pines en forma serial. Las muestras son tomadas a una frecuencia que puede ser regulada.

Una conversión de analógico a digital consiste, entonces, en mapear una señal de valores continuos a una de valores discretos utilizando para ello una cuantización y bits que ayuden a representar los valores medidos cada cierto lapso de tiempo. El número mínimo de muestras por segundo con que se puede muestrear una señal está dado concretamente por el “teorema de Nyquist”, creado por Harry Nyquist en 1928, y demostrado formalmente en 1949 por Claude Shannon. Nyquist dice que la recuperación de una señal de frecuencia máxima F en banda base solo será posible si se muestrea a una tasa igual o mayor a $2F$. La conversión de una señal analógica a una digital se basa en la toma de muestras de la señal analógica, lo suficientemente rápido para poder extraer toda la información que interese. Cada una de las muestras

pertenece a un conjunto finito de valores posibles y se representa utilizando bits, unos y ceros.

1.2. Televisión digital

Los enormes avances que han experimentado los sistemas de transmisión, recepción y corrección de errores, así como la decodificación de audio y video. Transmitir video de alta definición en formato comprimido y la capacidad de descomprimirlo a tiempo para ser visto sin pérdidas de calidad en el extremo del receptor. No es un trabajo fácil, esta brillante tecnología ha tomado décadas para su desarrollo. Estos tienen sus inicios en Japón, siendo el primero en desarrollar la televisión de alta definición, o HDTV, que gracias a la calidad de imagen que proporciona, puede potenciar significativamente la diferencia entre la televisión analógica y digital. Desde el punto de vista de un usuario el servicio de difusión de televisión apenas ha sufrido variaciones, el equipo receptor, el televisor, permite sintonizar y acceder a los demás canales difundidos en el medio.

La televisión digital es la evolución de las emisiones tradicionales al formato digital. Esta evolución permite una mejora de calidad de la imagen y sonido, un mayor número de canales y la introducción de numerosos servicios interactivos. La televisión digital supone también, la liberación del espectro, actualmente utilizado por la televisión analógica. Los posibles usos de ese espectro, sea en canales adicionales, nuevos servicios televisivos o servicios de comunicaciones móviles o inalámbricos, tendrá un importante efecto en el panorama de las telecomunicaciones, camino a la desaparición de dependencia del espectro.

Dentro del dominio digital, la información de video no está representada por la amplitud de las variables físicas, en este caso los voltajes de luminancia y crominancia, sino mediante dígitos que son el resultado de un proceso de muestreo y codificación. Este conjunto de dígitos que representan la información recibe el nombre de señal digital. La señal digital puede digitalizarse tanto en forma compuesta como en componentes.

El primer intento de digitalización de la señal cromática de televisión se encuentra en la década de los cincuentas, sin embargo, en 1971 se centra el trabajo en las señales monocromáticas. Los primeros experimentos para digitalizar la señal de vídeo cromático siguieron dos enfoques diferentes, uno orientado a señales compuestas y otro a la señal en tres componentes distintas, siendo las señales primarias R, G, B o la de luminancia y dos señales de diferencia de color que una vez transmitida se combinan nuevamente para formar la señal compuesta.

La televisión digital brinda multiprogramación, más de un programa viajando por el mismo canal. Las características de los programas pueden ser diferentes de una misma emisora, pueden estar relacionados a un mismo contenido o no, pueden tener diferentes calidades de definición como:

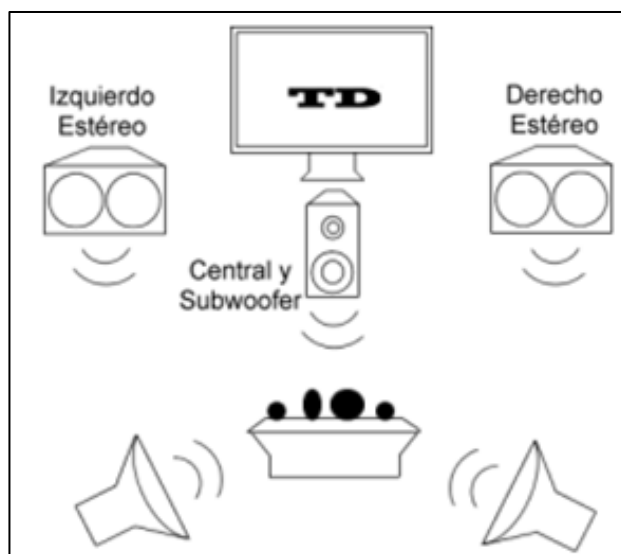
- Mayor calidad (HD).
- Menor calidad (SD).
- Principales ventajas de la televisión digital frente a la televisión analógica.
- Mejora de la calidad de imagen y sonido.
- Aumento del número de canales de televisión ofertados por banda UHF.
- Mayor flexibilidad de las emisiones y servicios adicionales.
- Televisión digital: audio y video mas datos. Los datos que pueden transmitirse en la televisión digital son aplicaciones que contienen:

- Audio y video
- Imágenes
- Texto

Los juegos, servicios interactivos y estadísticas son ejemplos de las aplicaciones de la televisión digital. El uso de la tecnología digital en la producción mejoró la calidad de las imágenes y sonidos, pero ese cambio no se hizo sentir en el formato de los programas. La tecnología de la interactividad permite el surgimiento de nuevas formas de negociaciones colectivas que modifican el papel de la media en la sociedad contemporánea. Los operadores de televisión digital, determinarán, según el modelo de negocio que propongan, la calidad en la cual emiten las señales de televisión digital, ya sea en alta definición o en definición estándar.

Es importante resaltar que, en un televisor analógico convencional, no se podrá apreciar los efectos de los diversos formatos de calidad de imagen que ofrece la televisión digital. Es más robusta frente a eventos de ruido e interferencia y además, el nivel de pérdida o atenuación de la señal es muy baja a diferencia de la televisión analógica. Es así, que con la televisión digital se eliminan los efectos de ruido e imagen fantasma o retardada producto de reflexiones de la señal de televisión. Con el formato de audio de la televisión digital (MPEG -1, MPEG-2 o AC3), es posible transmitir el audio con una tasa baja de codificación, lo que garantiza la optimización del espectro para mayor transmisión de información. Además es posible realizar codificación multicanal de hasta 6 canales de audio (audio 5,1), canal izquierdo y derecho estéreo, canal central estéreo, canal izquierdo y derecho envolvente, y el canal de baja frecuencia (*Low frequency effect subwoofer*).

Figura 1. **Señal de audio digital**



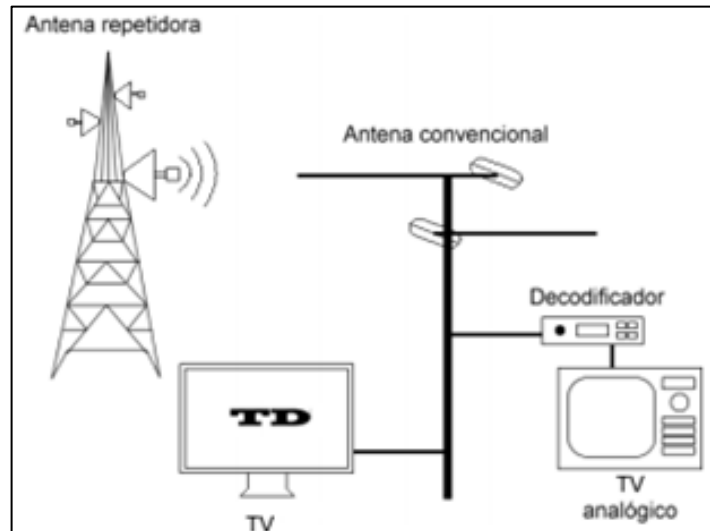
Fuente: LAYOLA ARROYO, Luis A. *Televisión digital al alcance de todos una introducción simple al estándar japonés ISDB-T y a las telecomunicaciones modernas.* p. 56.

Con la televisión digital se puede implementar tecnología de compresión y modulación que permiten hacer uso más eficiente del espectro radioeléctrico y así, emitir mayor cantidad de contenidos en el mismo rango de frecuencias de un canal convencional analógico.

En Guatemala, cada operador de televisión transmite sus contenidos en canales, cuyo ancho de banda es de 6 MHz. En el caso de la televisión analógica, el operador solo podía transmitir un contenido de audio y video.

Con la televisión digital es posible que cada operador amplíe su oferta de contenidos transmitiendo uno o más de forma simultánea y además, que este pueda ofrecer servicios de interactividad.

Figura 2. **Transmisiones de la señal de televisión**



Fuente: LAYOLA ARROYO, Luis A. *Televisión digital al alcance de todos una introducción simple al estándar japonés ISDB-T y a las telecomunicaciones modernas.* p. 61.

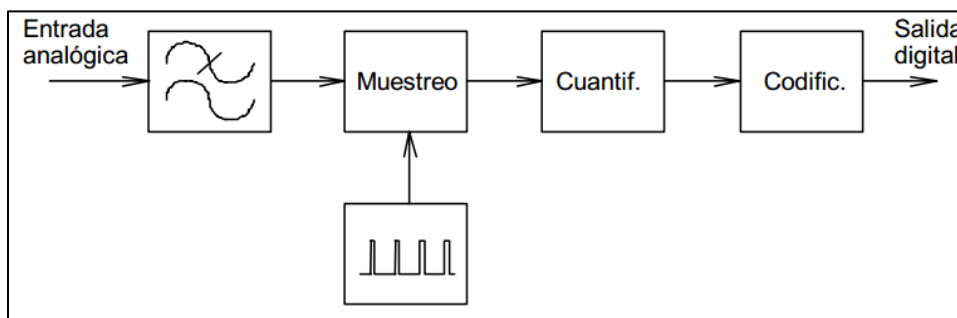
La televisión digital (TVD) es una tecnología que sustituirá a la televisión analógica convencional. En la TVD, la imagen, el sonido y los servicios adicionales se transforman en información digital, que es difundida a través de las ondas terrestres y recibida por las antenas de televisión convencionales.

1.3. Digitalización

La conversión de una señal de video analógica en digital sigue los mismos principios que se aplican a cualquier otra señal analógica y se basa en el principio de muestreo de Nyquist. La señal analógica debe limitarse en banda mediante un filtro de pasa bajo y luego muestrearse a intervalos tales, que la frecuencia de muestreo sea por lo menos, el doble de la frecuencia máxima de la señal filtrada. El filtro de limitación de banda debe tener una respuesta lineal tanto de amplitud como de fase, para evitar distorsiones de señal recuperada,

además, el ancho de banda del filtro debe ser del orden de 5MHz, correspondiente al ancho de banda base de la señal de video. El resultado del muestreo es una señal discreta de amplitud variable, a la que se somete a un proceso de cuantificación a fin de traducir la amplitud de las muestras a un código generalmente binario. Con pulsos de la misma amplitud y en que el número de posibles niveles de cuantificación está determinado por el número de bits con que se codifican las muestras.

Figura 3. **Esquema de un conversor analógico/digital**



Fuente: LAYOLA ARROYO, Luis A. *Televisión digital al alcance de todos una introducción simple al estándar japonés ISDB-T y a las telecomunicaciones modernas.* p. 67.

La digitalización de la señal analógica de video se basa en los mismos principios de la modulación por codificación de pulsos (PCM) mediante la cual, una señal analógica limitada en banda, se convierte en una secuencia de señales binarias con un código específico.

Muestreo: si una señal $x(t)$, limitada en banda, que no tiene componentes espectrales por encima de una cierta frecuencia f_{\max} se multiplica por un tren de impulsos con intervalo constantes t , dado por:

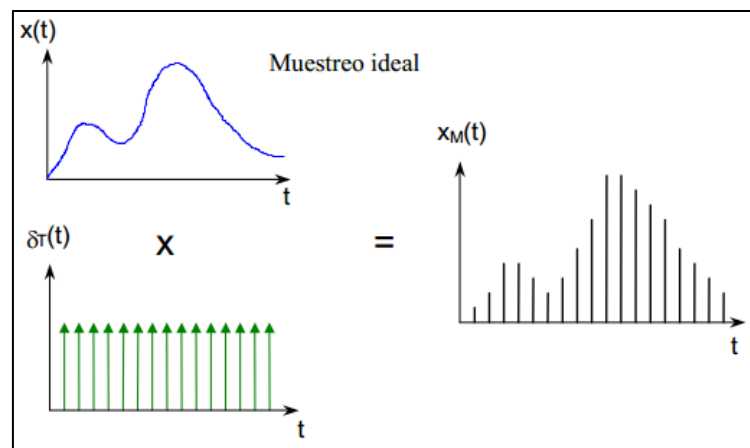
$$\delta_T(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t-nT)$$

Entonces, la señal muestreada será dada por:

$$x_M(n) = x(t)\delta_T(t) = x(t-nT)$$

En donde n representa ahora intervalos discretos de tiempo en cada T segundos. La señal discreta y cuya amplitud corresponde a la de la señal original en los puntos de muestreo, es la señal resultante y esta modulada por la amplitud de pulsos (PAM).

Figura 4. **Muestreo ideal**



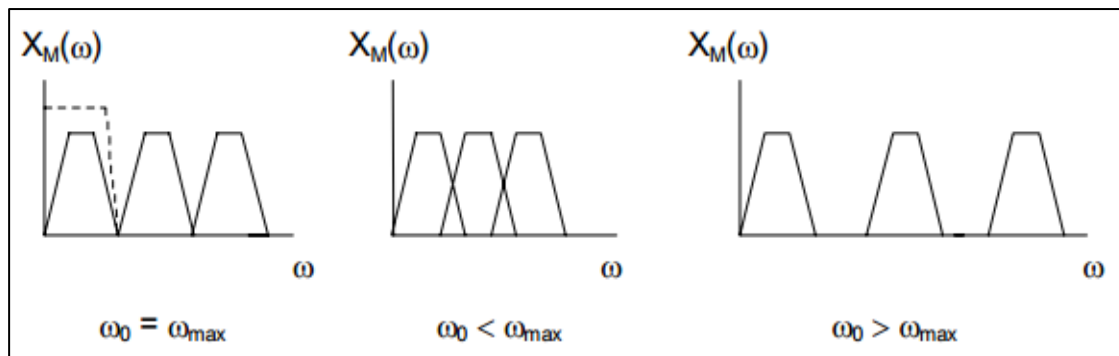
Fuente: LAYOLA ARROYO, Luis A. *Televisión digital al alcance de todos una introducción simple al estándar japonés ISDB-T y a las telecomunicaciones modernas.* p. 72.

En el dominio de frecuencia, la operación anterior equivale a la convolución del espectro de la señal con el del tren de impulsos.

$$\begin{aligned}
 X_M(\omega) &= X(\omega) * \delta_T(\omega) \\
 &= X(\omega) * \left[\frac{2\pi}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta\left(\omega - \frac{2\pi k}{T}\right) \right]
 \end{aligned}$$

Donde $X(\omega)$ es la transformada de Fourier de $x(t)$. La transformada de Fourier del tren de impulsos en el dominio del tiempo es otro tren de impulsos en el dominio de la frecuencia. Indicando que el espectro de la señal original se reproduce periódicamente en la forma mostrada

Figura 5. **Espectro de la señal muestreada**



Fuente: LAYOLA ARROYO, Luis A. *Televisión digital al alcance de todos una introducción simple al estándar japonés ISDB-T y a las telecomunicaciones modernas.* p. 73.

Si el periodo de los impulsos es $T = 2\pi/\omega_{max} = 1/f_{max}$, los espectros no se traslapan. Cuando la frecuencia de muestreo $f_0 = \omega_0/2\pi$ es menor que la frecuencia máxima de la señal, el intervalo de muestreo T aumenta y los espectros se traslapan y al recuperar la señal en banda base mediante un filtro de paso bajo. Cuya respuesta se indica por la línea de puntos en la figura 5. En las condiciones descritas, el proceso de muestreo es unidimensional, ya que solamente interviene una variable: el tiempo.

Para la digitalización de una señal analógica es necesario muestrear las líneas de video, al realizar esta acción el número total de bits siempre va hacer tan alto, como ejemplo, 166 Mbps, que ningún sistema común de transmisión de video proporciona transferencias suficientes para la gran cantidad de información. Realizando pruebas con el video CD tiene 1,4 Mbps y la televisión por cable 6 Mbps. Por esta razón es necesario utilizar los métodos de comprensión como la compresión de imágenes JPEG (Joint Photographic Experts Group), compresión MPEG-1 (Moving Picture Experts Group), compresión MJPEG, compresión MPEG-2, MPGE-3, MPGE-4 y MPGE-7.

Cada uno de los diferentes métodos de compresión realiza las siguientes funciones:

- JPEG: se diseñó para la codificación y transmisión de imágenes fijas.
- MPEG-1: se creó para el almacenamiento y reproducción de CDROM (Vel: 1.4Mbp).
- MPEG-2 - MPEG-3: se realizó para la codificación digital de la señal *broadcast* de radiotelevisión, reglas europeas DVB. Diseñado para la televisión digital.
- MPEG-4: optimizado para videoteléfonos y PDA, maneja bajo ancho de banda.
- MPEG-7: en desarrollo orientado a la descripción de objetos multimedia.

1.3.1. Producción

El acelerado avance de las tecnologías aplicadas a la producción de materiales audiovisuales y su difusión en los medios masivos de comunicación, está provocando escenarios y situaciones particulares que recién están siendo

analizados y que constituyen una característica esencial del proceso de convergencia actual.

A esta particularidad hay que sumarle la fragmentación de mensajes y la diversidad de las audiencias, con lo cual se podría afirmar que deben cambiar los modos y maneras de contar historias y concebir los mensajes audiovisuales.

Producción en multiplataforma se refiere a la creación de productos audiovisuales que logran una alta eficacia comunicativa en diversas plataformas, considerando y aprovechando las características propias de cada una y que brindan una alta experiencia de usuario por cualquier camino de acceso. Las plataformas desde el punto de vista de los productos audiovisuales, como los distintos sistemas de transmisión, distribución y tecnologías de visualización utilizados por los televidentes o usuarios de los productos audiovisuales, cada uno tiene determinadas características e influyen sobre la forma en que se visualizan y cómo se relacionan con el usuario.

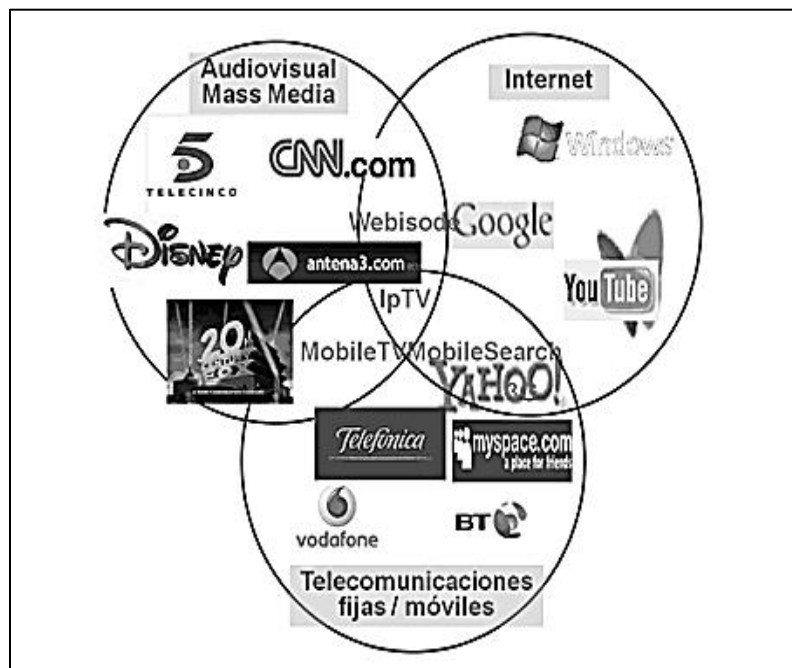
Las plataformas tradicionales para la distribución de productos audiovisuales son el cine, la televisión analógica y el vídeo analógico. Considerados estos, desde el punto de vista de la producción de contenido, como soportes tecnológicos; han crecido y evolucionado incluso en la reciente era digital en mayor medida han mantenido cierta compatibilidad a lo largo del tiempo y no han modificado su esencia y linealidad a la hora de emitir.

Con la digitalización del video y la televisión han aparecido muchas otras plataformas que están en constante evolución. Con la introducción de las tecnologías digitales en los medios, ya sea la telefonía, la TV por cable, la radio o la televisión por aire, es decir, los distintos servicios que utilizan bits para sus procesos, encuentran una gran cantidad de puntos en común en su forma de

transmisión, de proceso y de almacenamiento, por lo que desde este punto se puede visualizar una convergencia en un único sistema que utiliza bits como componente esencial, permitiendo que los distintos servicios se articulen sobre una misma tecnología.

En la figura 6, se descubren tres áreas: telecomunicaciones, medios audiovisuales e internet y se observa que muy aceleradamente se van fusionando y adquieren innumerables puntos en común.

Figura 6. **Convergencia**



Fuente: Telefónica España Alberto Moreno, Director de Política Regulatoria. *IX foro de regulación en las telecomunicaciones – AHCIET, audiovisuales y telecomunicaciones: dos mundos una realidad*. 4 de junio de 2008.

La digitalización ha modificado todos los procesos esenciales atribuidos al trabajo de búsqueda, elaboración y difusión de contenidos informativos. Para

lograr una mejor y mayor eficacia comunicativa y poder impactar a los televidentes, es necesario poder adaptar el contenido audiovisual a las particularidades de cada medio o dispositivo técnico de recepción, o a cada plataforma. Esta eficacia se traduciría en una mejor decodificación del mensaje por parte del usuario desde el punto de vista de los realizadores audiovisuales, con producciones a menor costo operativo, reducción de los tiempos de trabajo, captación de nuevos públicos y ampliación de las posibilidades de retroalimentación emisor/receptor y viceversa.

Se trata así de crear o diseñar productos audiovisuales para que sean distribuidos a muchos usuarios por distintos medios y dispositivos, y que en cada momento la comunicación, sea la más efectiva al considerar las propias características de cada dispositivo de distribución tecnológica. Una de las características de la TV digital consiste en la posibilidad de constituirse como distribuidor de contenidos electrónicos en lugar de la TV analógica, que simplemente es distribuidora de audio y vídeo. También es preciso recalcar que la TV digital compite de manera constante y hasta de manera desigual con la interactividad y el dinamismo planteado por los continuos cambios de internet. Las plataformas, en su concepción informática, definen un estándar alrededor del cual un sistema puede ser desarrollado.

Se tomará a las plataformas, desde el punto de vista de los productos audiovisuales, como los distintos sistemas de transmisión, distribución y tecnologías de visualización utilizados por los televidentes o usuarios de los productos audiovisuales. Cada uno tiene determinadas características e influyen sobre la forma en que se visualizan y cómo se relacionan con el usuario. Producción en multiplataforma se refiere a la creación de productos audiovisuales que logran una alta eficacia comunicativa en diversas plataformas, considerando y aprovechando las características propias de cada

una y que brindan una alta experiencia de usuario por cualquier camino de acceso. Las plataformas tradicionales para la distribución de productos audiovisuales son el cine, la televisión analógica y el vídeo analógico.

Con la digitalización del video y la televisión han aparecido muchas otras plataformas, que están en constante evolución. Puede ser que el internet sea solo un ejemplo de las nuevas posibilidades. Considerando la forma de acceso para ver los productos desde el usuario y las posibilidades de comportamiento del mismo, las plataformas que se identifican hoy son:

- *Standard definition (SD)*: se caracteriza por una calidad media, en resolución de 720x576 pixeles y se ofrece en formatos de pantalla 4/3 o 16/9. Siendo este el formato de pantalla medido en unidades de ancho sobre unidades de altura. Una pantalla 16/9 muestra más información que una de 4/3, entonces se necesita considerar qué parte de la escena se perderá al pasar de una plataforma a otra o qué consideraciones se tendrá para que no exista una deformación de la imagen.
- *High definition (HD)*: la calidad de las imágenes son determinantes, siendo para Full HD de 1920x1080 pixeles y generalmente el usuario cuenta con pantallas de gran tamaño (mayor a 32"), Aquí, hay que considerar el formato de pantalla de 16/9 y el proceso de conversión a SD (*down converter*).
- *Low definition (LD)*: se refiere a televisión de baja definición con resoluciones del orden de 320x240 pixeles, en diversos formatos de pantalla. Se incluyen los televisores portátiles y móviles, teléfonos celulares, *notebooks*, *netbook*, iPad, entre otros.

- Formatos en protocolo IP: webTV, IPTV, YouTube entre otros: en este caso se denomina plataforma a las distintas posibilidades tecnológicas de distribución de contenidos por internet, y que dependen, principalmente de las bajas velocidades de transferencia de datos.
- Datos: incorporación de datos adicionales a las producciones. Aquí el concepto de plataforma se relaciona a las posibilidades de incorporar datos adicionales a los productos audiovisuales, que permiten ofrecer información alternativa al televidente.
- Plataformas de videojuegos: se utilizan ampliamente en el hogar a través de consolas y constituyen en sí una plataforma que puede trabajar de manera independiente a la televisión e incluso a internet o puede estar relacionada, según la tecnología de la consola. Los productos audiovisuales para multiplataforma deberían considerar la adaptación productora de estas consolas y aprovechar las amplias posibilidades de comunicación que ofrecen.
- Dispositivos ópticos, DVD y Blue-ray: estos soportes de datos de características ópticas constituyen un estándar audiovisual para el hogar y han logrado una alta penetración y uso extendido. Ofrecen interacción local, por ejemplo, la división en capítulos, incorporación de fotografías, esquemas de navegación dentro de la producción, entre otros.
- Plataformas desde las formas del relato: las nuevas posibilidades en el campo de la comunicación audiovisual, si bien en su mayoría tienen sus raíces en lo tecnológico, también presentan modalidades aún no exploradas, que adecuadamente entendidas ayudarían a generar nuevas formas de relatos. Al diversificarse las señales con mayor calidad se

presenta la posibilidad de multiplicar las señales simultáneas de un mismo hecho, ampliando así las miradas de lo que en TV analógica era decisión privativa del director, que elegía lo que el espectador veía finalmente en su televisor.

La producción para televisión digital no es muy diferente a la producción audiovisual clásica con sus etapas de preproducción, producción y postproducción, pero si pretende competir, debe incorporar un elemento que impregna todo el proceso: la interactividad. De esta manera se agregarían nuevos y potenciales públicos. La producción de contenido debe pasar por transformaciones profundas en función de la interactividad y los modelos tecnológicos. El televidente, que hasta ahora asumía una posición prioritariamente pasiva, pasa a ser más activo en la TV digital, participando de la producción de contenido como ya sucede en internet.

La implementación de la tecnología digital sobre los diferentes equipos técnicos para la producción audiovisual es total. Cámaras, mesas mezcladoras, magnetoscopios, matrices, tituladoras, plataformas gráficas, procesadores de audio, todos los equipos de producción audiovisual trabajan en la actualidad, en formato digital. Incluso se ha evidenciado un abandono total de la cinta magnética para la grabación y almacenamiento del material audiovisual. Con mayor frecuencia proliferan cámaras (*cam corders*) dotadas de dispositivos de almacenamiento en estado sólido, como tarjetas de memoria o discos duros, acaparando el sector de la producción televisiva, principalmente la producción de noticias (ENG).

La posproducción de programas se realiza casi en su totalidad por sistemas de edición no lineal, con potentes equipos informáticos y complejos softwares, permitiendo innumerables posibilidades en los procesos de montaje

con la versatilidad del entorno digital. Pero el caso más revolucionario se encuentra en la producción de informativos, donde se han implementado sistemas integrales que permiten el almacenamiento de imágenes en servidores de vídeo y el acceso inmediato por parte del periodista a todo tipo material para la elaboración de productos informativos, ya sean imágenes, locuciones, textos o datos.

La producción de televisión es el proceso de llevar a cabo la realización de un programa mediante la unión de una serie de elementos como la creación, grabación y transformación de una idea principal hasta llegar a plantearse en términos reales de audio y video para su transmisión. El trabajo de producción tiene tres fases fundamentales; son la preproducción, la producción y la postproducción.

- Preproducción: etapa de realización de investigación, selección de ideas, revisión de los elementos con que se cuenta y el estudio de los costos para crear un programa. Esta etapa es la más importante, pues dependiendo del plan de trabajo y de las decisiones tomadas inicialmente, repercutirá directamente en el desarrollo del proyecto. Debiendo tener una organización en la cual se determinan los elementos que intervendrán en la grabación y transmisión del programa.
- Producción: es la fase de grabación del programa y básicamente el desarrollo del plan de trabajo preparado en la etapa de preproducción. En este proceso todos los elementos empiezan a interactuar, en el *staff* de producción se preparan todos los equipos técnicos necesarios para empezar a grabar.

- **Postproducción:** se encarga de la edición de video. La edición es el conjunto de operaciones realizadas sobre el material grabado para obtener la versión completa y definitiva del programa. El productor crea un *off-line* de material obtenido, seleccionando las mejores escenas. El sonido es otra parte importante de la postproducción puesto que gracias a la edición de sonido se puede crear el sonido ambiente, música y efectos de fondo que acompañarán el video dependiendo de las características del programa grabado.

1.3.2. Transmisión

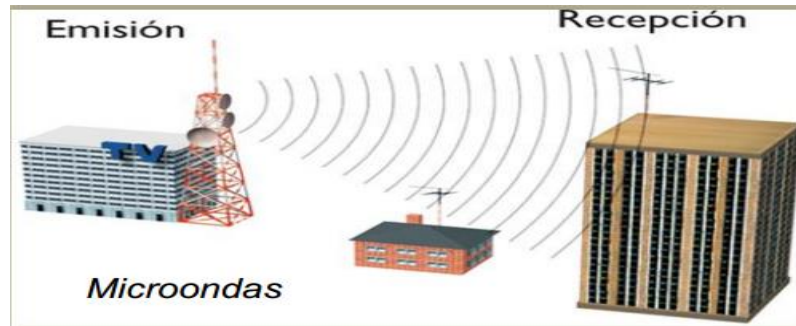
La televisión se convirtió en menos de un siglo en el medio de comunicación masivo de mayor difusión e inserción en los hogares. Consiste en la transmisión a distancia de imágenes en movimiento y sonidos desde una emisora hacia múltiples receptores. Se sigue el concepto de *broadcasting* o radiodifusión, que fue instalado, primero por la radio, y consiste en la emisión masiva de contenidos desde un transmisor central a varios receptores. Las transmisiones se realizan a través del espacio radioeléctrico en forma de ondas electromagnéticas que son captadas por una antena conectada a los receptores o televisores. Es decir, las luces y los sonidos se transforman en electricidad para ser transportados por el espacio y vuelven a convertirse en luz y sonido para que la audiencia los vea y escuche en sus televisores. La televisión fue evolucionando y perfeccionando esta lógica de transmisión.

El cable y el satélite introdujeron nuevos métodos para transportar la señal y modificaron la forma de emitir y recibir televisión, ampliando la oferta de contenidos y también el mercado. Internet es otro avance de la tecnología que contribuye a la difusión de la televisión y modifica su recepción.

El cambio más importante se da con la llegada de la televisión digital. Esta produce cambios sustanciales. La señal deja de ser analógica para convertirse en digital, lo que permite mayor aprovechamiento del espacio radioeléctrico, mejor calidad de imagen y posibilita la utilización de nuevos aparatos receptores como la telefonía móvil. Otro de los cambios que produce la televisión digital es la dimensión interactiva, en la que se incorpora información que permite al espectador participar e influir sobre los contenidos a través de un decodificador o set top box, el elemento vital para la decodificación de la señal de la televisión digital Terrestre (TDT), que también se trasmite por el espacio radioeléctrico.

La digitalización es el cambio tecnológico más importante que está viviendo la televisión y en pocos años se terminará de imponer, redefiniéndola como medio de comunicación masivo. Pero, para llegar a la digitalización, la televisión atravesó nueve décadas de historia en el mundo. Un medio de comunicación que se dio a conocer fueron las microondas, este medio puede ser tanto analógico como digital. Los sistemas de microondas permiten establecer vínculos terrestres de telecomunicaciones, punto a punto, mediante haces longitudinales que conectan dos estaciones. En un sistema de transmisión los radioenlaces analógicos son utilizados para comunicar el estudio de televisión con el transmisor, es por esto, que son el medio por el cual la señal viaja desde el estudio hasta el transmisor.

Figura 7. **Transmisiones microondas**



Fuente: *Sistema de comunicaciones. La televisión, sistema completo de transmisión y recepción.* <http://www.angelfire.com/al2/comunicaciones/sistemas/index.html>.

Consulta: 12 de octubre de 2014.

Las microondas trabajan en la banda UHF (*Ultra high frequency*), si se manejan distancias largas, es necesario estaciones intermedias que son más conocidas como repetidoras, las cuales están encargadas de recibir, amplificar y retransmitir las señales, ya sean analógicas o digitales.

La distancia aproximada entre cada repetidora es de 50 kilómetros, pero este varía dependiendo de la frecuencia de transmisión que se esté manejando, pues a medida que aumenta la frecuencia es necesario disminuir la distancia. Las distancias análogas fueron las primeras en instalarse para la transmisión telefónica y televisiva. La onda emitida es analógica transmitida en FM. Dentro de un sistema microondas existen dos tipos de repetidoras pasivas, son dos antenas (Tx transmisora y Rx receptora) conectadas entre sí, las cuales reciben las señales, retransmite a la siguiente estación sin amplificar la señal.

Las repetidoras activas, de igual manera consisten de dos antenas, pero a diferencia de las pasivas, esta sí amplifican la señal antes de retransmitirla. Por

otro lado, las microondas digitales permiten regenerar la señal y así posibilita mayor tolerancia al ruido y las interferencias, debido a que en cada repetidora se va regenerando la señal digital. Razón por la cual el ruido y la distorsión no se propagan con cada retransmisión como sucede con las microondas análogas pues no es posible regenerar la señal solo amplificarla. Los métodos de modulación para estas señales digitales son: 2PSK, 4PSK, 8PSK, 16QAM y 64QAM.

Los equipos utilizados en una transmisión son: los transmisores, las líneas de transmisión, las antenas y las torres de transmisión. Un transmisor es un sistema de transmisión de televisión básico y está compuesto por dos transmisores, uno para la portadora de sonido y el otro para la portadora de video.

Primero se realiza el proceso de modulación, en el cual la amplitud de la señal de video se modula con la portadora de imagen y la frecuencia de la señal de audio, con la portadora de sonido. Después de este proceso cada nueva señal va hacia un amplificador, luego a un filtro, él se encarga de prevenir interferencias entre la señal de audio y video.

Después cada señal (audio y video) van hacia un combinador y de allí a la antena. En una estación se pueden tener varios transmisores al mismo tiempo, ya sea para realizar transmisiones cotidianas o de emergencia, esto implica que para tener transmisores cada canal debe tener un permiso de la CNTV (Comisión Nacional Televisión), de igual manera, cada vez que se realizara un cambio de equipo es necesario el permiso. Los equipos de transmisión que se utilizan están clasificados de la siguiente manera.

- Transmisión principal: es el transmisor utilizado para las transmisiones diarias de audio y video desde que no se presente ninguna eventualidad o emergencia.
- Transmisor auxiliar: se utiliza a la par con el transmisor principal, se encuentra instalado en la misma estación o unidad y opera de forma similar a la del principal en potencia y frecuencia.
- Transmisor de emergencia: este puede estar en *standby* o puede estar en lugar donde se encuentra el transmisor principal para cuando se presente cualquier emergencia, aclarando que este transmisor casi siempre es de menor potencia del principal. Sirviendo solo de reemplazo a corto tiempo mientras se soluciona el problema.

Las líneas de transmisión sirven para transferir las señales de baja y alta frecuencia de un lugar a otro. Baja frecuencia es la energía eléctrica de 60 Hz y señales pequeñas de audio.

Figura 8. **Líneas de transmisión coaxiales**



Fuente: ALTAMIRANO Florez Gonzalo E. *Análisis, dimensionamiento de un estudio de televisión y diseño de un enlace alternativo vía fibra óptica*

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3178/1/5696.pdf>.

Consulta: 14 de noviembre de 2014.

Alta frecuencia se refiere a las señales en frecuencia de radio RF e intermedias IF. Debido a que se manejan altas frecuencias se presentan grandes pérdidas tanto de radiación como dieléctricas, y para reducir estas pérdidas se utilizan líneas de transmisión coaxiales, las cuales consisten de un conductor central rodeado por un conductor exterior concéntrico el cual proporciona una protección alta contra interferencias externas.

La función de la antena es radiar y recibir ondas electromagnéticas. Las antenas convierten la onda guiada por la línea de transmisión en ondas electromagnéticas, la onda radiada por la antena debe tener una dirección determinada. La adaptación de la antena al transmisor se hace por medio de una línea de transmisión para una máxima transferencia de potencia y un mínimo de pérdidas, para esto se debe tener en cuenta la impedancia, atenuación y longitud.

Para la adaptación entre la antena y la línea de transmisión hay que tener en cuenta la impedancia característica, atenuación y longitud. En la entrada de la antena o punto de alimentación es donde se conecta la línea de transmisión, en este punto se presenta una carga AC a la línea de transmisión, la cual es conocida como impedancia de entrada de la antena. Se debe tener en cuenta que la impedancia de entrada del transmisor y la de entrada de la antena deben ser iguales a la impedancia característica de la línea de transmisión, para que se pueda transferir la potencia máxima a la antena y se pueda irradiar.

La característica de radiación debe ser la misma para cada una de las antenas, tanto la antena transmisora como receptora para que se dé el proceso de transmisión, ambas deben tener el mismo patrón de radiación. En la planta o estación es donde se encuentra el transmisor, la torre y la antena de transmisión.

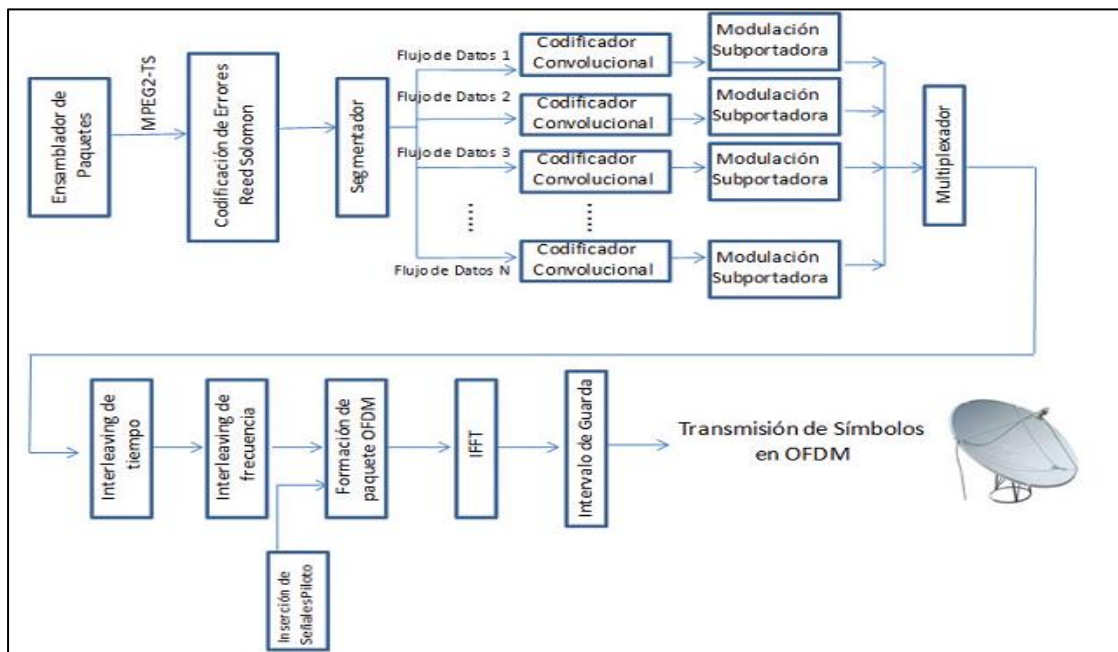
En la estación se encuentra un operador de planta, el cual está encargado de informar cualquier eventualidad que presente el transmisor, el realiza cambios técnicos solo si son importantes o urgentes, pero en el momento que haya alguna falla inmediatamente informa y el personal encargado se dirige hacia la planta.

Los equipos funcionan en condiciones ambientales adecuadas y sus sistemas de control, protección y señalización garantizan su correcto funcionamiento. Todas las estaciones presentan una planta de energía auxiliar algunas se activan automáticamente y otras el operador debe acercarse y encenderla en caso de que la estación se quede sin la energía principal. En la torre se encuentra la antena de transmisión, para poder instalar estas antenas por primera vez o cambiarlas por otras es necesario tener un permiso de las

entidades regulatorias, las cuales deben indicar la altura permitida y la ubicación de la antena.

La parte superior de la torre debe tener las luces llamadas balizas, esto es para alertar a los aviones de que esta torre se encuentra allí. Es importante ubicar en una altura ideal la antena, ya que esta necesita una línea de vista libre de obstrucción para la transmisión entre estudio planta. Ahora que ya se han revisado todos los componentes más significativos del sistema de transmisión, se puede dibujar un diagrama de bloques simplificado del equipo transmisor.

Figura 9. Diagrama de bloque del sistema de transmisión



Fuente: LAYOLA ARROYO, Luis A. *La televisión, sistema completo de transmisión y recepción.*

<http://www.angelfire.com/al2/comunicaciones/sistemas/index.html>.

Consulta: 14 de noviembre de 2014.

1.3.3. Recepción

La estación receptora se encarga de recibir la información generada por la estación transmisora. Cualquier onda electromagnética que se propaga por el espacio o el aire está caracterizada por un campo eléctrico y un campo magnético. Es un hecho que entre más lejos se encuentre de la antena de transmisión, menor será la potencia de recepción. La potencia puede ser calculada en función del campo eléctrico que se mide en la antena de recepción. A su vez, el campo eléctrico E se mide en voltaje por unidad de espacio, generalmente en volts por metro (V/m). La medida más utilizada para el campo eléctrico E se expresa en decibeles por sobre un *microvolt* por metro (denominado dB) y está dada por la siguiente fórmula:

$$E \text{ [dbu]} = 20 \log \left(\frac{E \left[\frac{\mu V}{m} \right]}{1 \left[\frac{\mu V}{m} \right]} \right)$$

La medida en el denominador equivale a una millonésima de *volt* por metro. En esta unidad de medida, la intensidad de campo eléctrico de 1 mili volt/metro se traduce a mil veces o veces el denominador, y por lo tanto a 60 decibeles o dB. La medida de decibel se utiliza no solo en telecomunicaciones sino en más áreas, un ejemplo es el de la intensidad del sonido. Para recibir una señal analógica de televisión se necesita recibir, por lo menos un campo eléctrico de 70 dB con respecto a 1 micro volt/metro. En el caso de la televisión digital, gracias a su mayor resistencia a la interferencia y al ruido el mínimo campo eléctrico que puede recibirse es de 60 dB con respecto a 1 micro voltio/metro. Además, se ha contemplado un margen de guarda de 9 dB para contrarrestar las variaciones del canal causadas por desvanecimiento por canales selectivos en frecuencia, fenómeno propio de los enlaces inalámbricos asociado al problema de multitrayectorias.

Con un campo eléctrico recibido de menos de 60 dB solo se podrá ver una imagen de muy mala calidad en el receptor acompañada probablemente por un molesto ruido auditivo. En contraste, en el caso de la televisión digital la imagen no se degrada gradualmente, sino que abruptamente cuando el receptor deja de recibir la potencia suficiente. Ello debido a los poderosos mecanismos de corrección de errores (códigos convolucionales y de *Reed-Solomon*) y a las técnicas de *interleaving*. Todos estos mecanismos garantizan una excelente calidad de imagen, aun cuando la potencia de recepción se reduzca significativamente. De esta forma, en el caso de la televisión digital, se puede decir, que en general se ve muy bien o no se ve absolutamente nada. Esta abrupta caída en la percepción visual de la señal digital se denomina efecto arrecife por su empinada caída en función de la distancia.

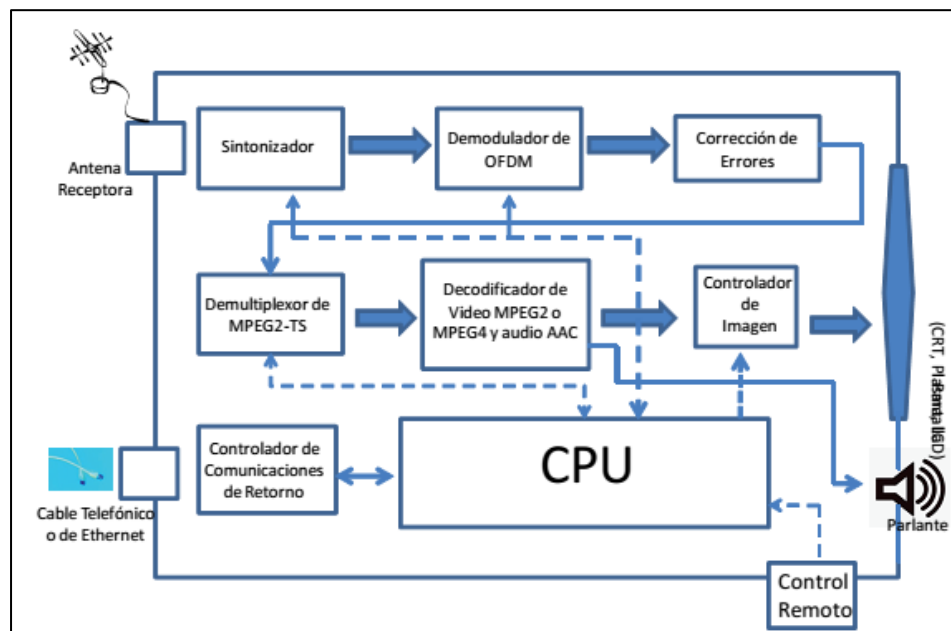
El sistema de transmisión de televisión vía satélite es el que recibe señales en el satélite, y este a su vez retransmite a estaciones receptoras o al usuario final directamente. Consta de los receptores-transmisores (*transponder*) y de las estaciones terrenas. Para realizar los enlaces entre la Tierra y el satélite se manejan frecuencias diferentes, es decir, para un enlace ascendente se maneja una frecuencia y para el descendente otra. Esto es para evitar interferencias en las señales.

Un transponder: básicamente es el que se encarga de recibir y transmitir la señal. Al recibir las señales este se encarga de amplificarlas y retransmitirlas a la tierra con una frecuencia diferente.

La recepción indica qué tan bueno ha sido el apuntamiento de antenasatélite, por lo que el equipo toma una gran importancia en este proceso.

El diagrama del receptor con sus principales componentes: en el caso de una señal analógica basta con demodular la señal para extraer la información, pero en el caso de una señal digital ese es solo el primer paso. Luego de demodular y extraer los bits de la señal transmitida con OFDM se realiza la corrección de errores basada en códigos convolucionales. Después de este paso recién pueden identificarse los paquetes con información enviados en el formato MPEG2-TS, el cual también incluye varios paquetes de control. De los paquetes con información se puede, por vez primera reconocer y extraer los paquetes de video, audio y datos. El proceso simplificado puede dividirse en los cuatro pasos que se describen a continuación:

Figura 10. **Diagrama de bloque del sistema de recepción**



Fuente: LAYOLA ARROYO, Luis A. *La televisión, sistema completo de transmisión y recepción.*

<http://www.angelfire.com/al2/comunicaciones/sistemas/index.html>.

Consulta: 15 de noviembre de 2014.

- Con el selector de canales se elige el canal deseado. La señal modulada con OFDM es demodulada extrayéndose los bits (unos y ceros) de información.
- Los posibles errores en los bits de información son corregidos con los códigos convolucionales y luego los paquetes de información son extraídos en formato MPEG2-TS.
- Los paquetes en formato MPEG2-TS contienen los datos de video, audio, la programación electrónica y todos los diferentes tipos de medios que han sido enviados por el transmisor. En el caso del estándar digital, es posible que dentro del canal de 6 MHz seleccionado estén siendo transmitidos 2 o 3 programas simultáneamente. Los diferentes programas pueden ser distinguidos por la información de control del formato MPEG2-TS. Los datos correspondiente a cada programa es demultiplexada en: video de formato MPEG2, audio en formato AAC y datos (incluyendo aquellos transmitidos en formato BML). El audio y el video son enviados al decodificador de MPEG2/AAC, mientras que los datos son enviados al CPU o procesador central del equipo.
- En el decodificador de MPEG2/AAC los paquetes de video son extraídos y enviados al controlador de superposición de imágenes junto a los datos de texto (o imágenes) en formato BML que han sido procesados por el CPU. El audio extraído del mismo decodificador AAC es enviado (ya en formato analógico) directamente a los parlantes del equipo.
- El controlador de superposición de imágenes toma la imagen proveniente de los datos (en BML) y la superpone a la imagen con los pixeles de video MPEG2 decodificados para mostrar una combinación de ambas o

solo una de ellas (dependiendo de la selección del usuario y de las funciones del equipo receptor).

1.4. Formatos

La tecnología de la captación, grabación, procesamiento, almacenamiento, transmisión y reconstrucción por medios electrónicos digitales o analógicos de una secuencia de imágenes que representan escenas en movimiento es el vídeo. Esta tecnología de vídeo fue desarrollada por primera vez para los sistemas de televisión, pero ha derivado en muchos formatos para permitir la grabación de vídeo de los consumidores y que, además pueda ser visto a través de internet. Inicialmente la señal de vídeo está formada por un número de líneas agrupadas en varios cuadros, y estos a la vez divididos en dos campos, estos portan la información de luz y color de la imagen.

El número de líneas, de cuadros y la forma de portar la información del color depende del estándar de televisión concreto. La imagen está formada por luz y color; la luz define la imagen en blanco y negro (es la información que se utiliza en sistemas de blanco y negro) y a esta parte de la señal de vídeo se la llama luminancia. En formato analógico, se trata de visualizar más de 24 imágenes por segundo, para tener una agradable sensación de movimiento. Cuando se traslada esto al formato digital, se trataría de visualizar más de 24 imágenes digitales por segundo. Esto implica que si se usan imágenes con formato tipo BMP, el tamaño del fichero de vídeo digital sea enorme. Así se puede ir a las dos soluciones más utilizadas en la actualidad:

- Comprimir las imágenes, pero no solo como una compresión de bits, por ejemplo, reduciendo el espectro y solo transmitiendo las diferencias de imagen entre una y la siguiente.

- Reducir el tamaño de visualización, es decir, si se quiere ver en una gran pantalla, se necesitará más resolución, y por lo tanto, transmitir más datos. En el caso de internet, con velocidades de transmisión reducidas, el tamaño de la visualización acostumbra a ser una porción de la pantalla.

Por otro lado, como el vídeo está formado por imágenes y sonido, cada uno tiene su formato, pero cuando se ha de reproducir, tiene que haber una sincronización en el tiempo de las imágenes y el sonido. El formato de ficheros de vídeo digital está basado en la forma que se guardan los datos de un fichero de vídeo con el fin de que puedan ser interpretados por un ordenador o dispositivo análogo. Para transformar la información analógica de las imágenes en digital se usan los códec, acrónimo de codificador/descodificador. En muchos casos estos codecs analizan los fotogramas y emplean algoritmos para comprimir sus datos. La compresión puede ser:

- Temporal: en la que se analiza un fotograma y se guarda la diferencia entre un fotograma y el fotograma anterior.
- Espacial: en la que se eliminan los datos de los píxeles que no cambian en cada fotograma.

Existen tres formatos de vídeo de gran implantación: el MOV de QuickTime, el AVI (*Audio Video Interleaved*) y el estándar MPEG (*Moving Pictures Experts Group*). El formato MOV de QuickTime, creado por Apple es multiplataforma y en sus versiones más recientes permite interactuar con películas en 3D y de realidad virtual. El formato AVI es propio de Windows, y por lo tanto está diseñado para ejecutarse principalmente en sus sistemas operativos. El formato correspondiente al estándar MPEG produce una

compresión de los datos con una pequeña pérdida de la calidad; desde su creación, se ha definido el MPEG-1, utilizado en CD-ROM y vídeo CD, el MPEG-2, usado en los DVD-ROM y la televisión digital, y el MPEG-4, que se emplea para transmitir vídeo e imágenes en ancho de banda reducido.

Formato MOV de QuickTime: creado por Apple, es multiplataforma y en sus versiones más recientes permite interactuar con películas en 3D y realidad virtual. Las funciones de este formato son las propias de un fichero contenedor multimedia que contiene una o más pistas, cada una de cuales almacena un determinado tipo de datos, ya sea audio, vídeo, efectos, o texto, por ejemplo, los subtítulos. Cada pista contiene un flujo determinado de información codificado digitalmente con un determinado códec o una referencia de los datos almacenado en otro fichero. Las pistas se mantienen según una estructura jerárquica de datos que consiste en objetos llamados átomos. Un átomo puede ser el padre de otros átomos o puede contener información, pero no puede hacer ambas funciones.

Formato AVI: (*Audio Video Interleave*) contenedor multimedia introducido por Microsoft en noviembre de 1992, como parte de su vídeo para la tecnología Windows. Los ficheros AVI puede contener tanto datos de audio y como de vídeo en un contenedor de ficheros que permite la sincronización del audio con la reproducción del vídeo. Al igual que el formato de vídeo DVD, el AVI soporta múltiples flujos de audio y vídeo, aunque estas características raramente se utilizan. La mayoría de ficheros AVI, también usan las extensiones de fichero del formato desarrollado por el grupo de *OpenDML Matrox* en febrero de 1996. El formato AVI definido por Microsoft para Windows en 1992, fue mejorado posteriormente mediante las extensiones del formato del grupo *OpenDML* de la compañía *Matrox*. Estas extensiones están soportadas por Microsoft, aunque no de manera oficial y se conocen como AVI2.0. Los contenidos de audio y

vídeo en el contenedor AVI pueden tener otros formatos, por ejemplo: los formatos AC3, DivX, MP3 y Xvid. Para que toda la información pueda ser reproducida simultáneamente, es necesario que se almacene de manera entrelazada. De esta forma, cada fragmento del formato debe tener la suficiente información como para reproducir unos pocos fotogramas junto con el sonido correspondiente. Para reproducir un fichero con formato AVI es necesario lo siguiente:

- Un reproductor de vídeo capaz de interpretar el formato AVI
- El códec de vídeo para interpretar el flujo de vídeo
- El códec de audio para interpretar el flujo de audio

Formato MPEG: (*Moving Pictures Experts Group*) de almacenamiento de vídeo digital con una compresión de los datos con una pequeña pérdida de la calidad. Desde su creación, se ha definido el MPEG-1 utilizado en audio CD y vídeo CD, el MPEG-2, usado en los DVD y la televisión digital, y el MPEG-4, que se emplea para transmitir vídeo e imágenes con un ancho de banda reducido. El formato MPEG-1 se publicó como un estándar ISO/IEC 11172 con el título '*Information technology -- Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1,5 Mbps*'. El estándar consta de un documento con cinco partes:

- Sistemas: almacenamiento y sincronización de vídeo, audio, y otros datos juntos.
- Vídeo: contenido del vídeo comprimido.
- Audio: formatos MPG y MP3.
- Prueba de conformidad: comprobando el cumplimiento del estándar por parte de las implementaciones.

- Software de referencia: ejemplo de software mostrando cómo codificar y descodificar de acuerdo con el estándar.

Formato MPEG-2: es estándar para el código genérico de información de imágenes en movimiento y el audio asociado. Describe una combinación de métodos de compresión de vídeo y audio con pérdida que permiten el almacenamiento y la transmisión de películas usando normalmente el ancho de banda disponible para su almacenamiento y su transmisión. MPEG-2 se usa ampliamente como el formato de las señales de televisión digital que son transmitidas mediante sistemas terrestres, por cable o por satélite. También especifica el formato de las películas y otros programas que se distribuyen mediante DVD y discos similares. Así las estaciones de TV, los receptores de TV, los reproductores de DVD y otros equipos se diseñan a menudo para este formato. El formato MPEG-2 fue el segundo de los estándares desarrollados por el MPEG (Moving Pictures Expert Group) y es el estándar internacional ISO/IEC 13818. Las partes 1 y 2 de MPEG-2 fueron desarrolladas en colaboración con ITU-T. Define dos formatos de contenedor que están relacionados entre sí. Uno es el Transport Stream, diseñado para transportar vídeo y audio sobre medios con pérdidas. El otro es el Program Stream, un formato de contenedor diseñado para una transmisión con fiabilidad razonable como los discos ópticos, los DVDs y los SVCDs.

Formato MPEG-4: es una versión mejorada del MPEG-2. Se introdujo a finales de 1998, fue diseñado por el grupo MPEG bajo el nombre de ISO/IEC 14496. Toma muchas de las características de MPEG-1 y MPEG-2 y otros estándares relacionados, añadiendo nuevas características, tales como el soporte VRML para *rendering* 3D, ficheros compuestos orientado a objetos (incluidos objetos de audio, vídeo y VRML), soporte para la gestión de derechos digitales y diversos tipos de interactividad. La mayoría de las características

incluidas en el formato MPEG-4 son dejadas a los desarrolladores individuales para decidir si las implementan.

Inicialmente el formato MPEG-4 fue dirigido, principalmente a las comunicaciones de vídeo de baja velocidad. Sin embargo, su ámbito como estándar, que es de codificación multimedia se amplió más tarde. El formato MPEG-4 ofrece las siguientes funcionalidades:

- Mejora de la eficiencia de la codificación.
- Posibilidad de codificar datos mezclados de vídeo, audio y voz.
- Error de resiliencia que permite una transmisión robusta.
- Posibilidad de interactuar con la escena audiovisual generada en el receptor.

Formato WMV: Windows media video (WMV): fichero de vídeo comprimido propietario, desarrollado por Microsoft. El códec original, conocido como WMV, fue originalmente diseñado para aplicaciones de *streaming* de internet, como un competidor del formato Real Video. Los otros códecs, como los WMV *Screen* y WMV *Image*, atienden a contenidos especializados. La versión 9 del formato utilizado por Microsoft fue remitida a la SMPTE (Society Motion Picture and Television Engineers) para su aprobación como estándar, bajo el nombre en clave VC-1. Este códec es también utilizado en la distribución de vídeo de alta definición sobre DVD estándar en un formato que Microsoft ha denominado WMV HD, el cual puede ser reproducido tanto en ordenadores como en reproductores de sobremesa.

El formato VOB: (*Video Object*) es un contenedor en medios de vídeo con DVD. El formato VOB puede contener vídeo, audio, subtítulos y contenido del menú, todo multiplexado en un único flujo. Se basa en el formato MPEG, pero

con limitaciones y especificaciones adicionales en los flujos privados. El formato tiene provisiones para datos no estándar en forma de flujos privados. Mientras que el VOB consta de flujos con formato MPEG, no todos los flujos MPEG cumplen con el estándar VOB.

El VOB puede contener los estándares de vídeo H.262/MPEG-2 Parte 2 o MPEG-1 parte 2, y los estándares de audio MPEG-1 Audio Layer II o MPEG-2 Audio Layer II, pero el uso de estos formatos de compresión en un archivo VOB tiene algunas restricciones en comparación con el flujo MPEG. Además, el formato VOB puede contener linear PCM, AC-3 o DTS y subimágenes (subtítulos), pero no puede contener el estándar de audio AAC (MPEG-2 Parte 7), formatos de compresión MPEG-4 y otros que están autorizados en el estándar MPEG. En el DVD, todos los contenidos para un grupo de un título (VTS) son contiguos, pero divididos en ficheros de 1 GB en el sistema de ficheros del sistema para la comodidad de los diferentes sistemas operativos. Cada archivo con formato VOB debe ser inferior a o igual a 1GB. Los DVD con ficheros VOB incluyen también, ficheros IFO y BUP. Los ficheros IFO (Info) contienen toda la información que un reproductor de DVD necesita saber acerca de un DVD para que el usuario pueda navegar y reproducir todo su contenido.

Formato MOD: MOD y TOD son nombres informales de formatos de vídeo sin cinta utilizados por JVC (MOD y TOD), Panasonic (solamente MOD) y Canon (solamente MOD) en algunos modelos de video cámaras digitales. Los nombres del formato corresponden a las extensiones de los ficheros de vídeo. Ni JVC ni Panasonic, que fueron los pioneros del formato, han explicado el sentido de las extensiones de fichero y los formatos nunca se les dio un nombre oficial. MOD se utiliza exclusivamente para los ficheros de vídeo de definición normal, mientras que TOD se utiliza para los ficheros de alta definición. Las primeras cámaras de vídeo que utilizaban el formato MOD aparecieron en 2003.

JVC introdujo el Everio GZ-MG30, que grababa directamente en el disco duro interno. Panasonic lanzó el SDRS100 donde grababa en tarjetas SD. El tipo de códec, las tasas de datos, la velocidad de fotogramas y el tamaño de la trama eran muy igualados a los parámetros de DVD-vídeo.

El formato ASF: (*Advanced Systems Format*) es de almacenamiento de vídeo digital, propiedad de Microsoft y es parte del marco de Windows Media. Uno de los objetivos del formato ASF es dar soporte a la reproducción de los servidores de medios digitales, los servidores HTTP, y los dispositivos locales de almacenamiento, como unidades de disco duro. Los tipos de fichero más comunes contenidos en un fichero ASF son los formatos WMA y WMV. Se debe tener en cuenta que las abreviaturas de la extensión del fichero son diferentes de los códec que tienen el mismo nombre. Los ficheros que contienen sólo audio WMA pueden ser nombrados usando una extensión .wma y los ficheros de contenido de audio y vídeo pueden tener la extensión .wmv, ambos pueden usar la extensión .asf si lo desea.

El formato 3GP (3GPP) es un contenedor multimedia definido por el Third Generation Partnership Project (3GPP) para los servicios multimedia de 3G UMTS. Es un formato de contenedor multimedia definido por el 3GPP2 para los servicios multimedia de 3G CDMA2000. Es muy similar al 3GP, pero tiene algunas ampliaciones y limitaciones en comparación con el 3GP. Las especificaciones técnicas del formato 3GP están, estandarizadas en el ETSI 3GPP. El formato 3GP es uno formato requerido para el vídeo y asociado al audio y al texto temporizado. Los 3GP y 3G2 están estructuralmente basado en el de media de ISO definido en ISO / IEC 14496-12 - MPEG-4, pero las versiones anteriores del formato 3GP no utilizaron algunas de sus características. 3GP y 3G2 son formatos de contenedor similares al MPEG-4. Los 3GP y 3G2 fueron diseñados para disminuir el almacenamiento y la

necesidad de ancho de banda con el fin de acomodarlo a los teléfonos móviles. Las diferencias básicas de los formatos 3GP y 3G2 son:

- El formato 3GPP fue diseñado para los teléfonos basados en GSM y pueden tener la extensión 3 gp.
- El formato 3GPP2 fue diseñado para los teléfonos basados en CDMA y pueden tener la extensión 3 g2.

El formato 3GP almacena los flujos de vídeo como MPEG-4 o H.263, y los flujos de audio como AMR-NB, AMR WB, AMR-WB +, AAC-LC, HE-AAC v1 o EnhancedaacPlus (HE-AAC v2). El formato 3GPP permite el uso de los codecs de AMR y H.263 en los medios basados en MPEG-4, porque el formato 3GPP especifica el uso de la Sample Entry y los campos de plantilla.

1.5. Codificación digital

La codificación para comprimir datos de video o de audio corresponde a otro tipo de codificación llamada codificación de fuente. Su objetivo no es proteger la información de los posibles errores en el canal, sino comprimirla hasta un nivel en que resulte más eficiente transportarla. Los códigos convolucionales y los Reed-Solomon son códigos de corrección de errores que por definición son independientes del tipo de datos que se desea enviar (texto, video, imágenes, entre otros). Eso quiere decir, que brindan el mismo nivel de protección a un grupo de bits de audio que de video o mensajes de texto. En términos generales se puede afirmar que entre mayor es la tasa de compresión, menor es el ancho de banda requerido para transmitir la misma cantidad de información. Como contraparte, sin embargo, generalmente los algoritmos que ofrecen altas tasas de compresión requieren de un alto poder de procesamiento

en el receptor así como de eficientes mecanismos de corrección de errores. Se puede comprimir la información explotando sus correlaciones.

1.5.1. Códec

Si se seconsidera una señal de televisión analógica, la tasa de transmisión de datos que se necesita para ofrecerla en formato digital sin compresión es de más de 100 megabits por segundo (Mbps). Para el caso de televisión de alta definición (1920x1080) la tasa de datos se incrementa a 1,2 giga bits por segundo (Gbps), equivalente a 1200 veces 1 Mbps, Vale la pena mencionar que una conexión a internet por ADSL desde nuestros hogares ofrece típicamente hoy un ancho de banda promedio de 8 Mbps. La máxima tasa de transferencia de datos en ISDB-T (Estructura del sistema ISDB-T) ocurre con la transmisión en alta definición con modulación de 64 QAM, código convolucional (4,3) e intervalo de guarda de 1/8 de símbolo en OFDM y equivale a 18 Mbps.

La increíble reducción de 1,2 Gbps a 18 Mbps para transmitir un video en alta definición se debe a la compresión que ofrece el códec de video MPEG2. El códec H.264, dos veces más eficiente que el MPEG2, brinda esa increíble calidad de video en aproximadamente 10 mbps. El *Moving Picture Coding Experts Group* (Grupo de Expertos en Video) (*Moving Picture Coding Experts Group*) es un grupo internacional de expertos en procesamiento de imágenes y algoritmos de compresión de audio y video digital que fue fundado en 1988. Su misión es el desarrollo de estándares para formatos de compresión de audio y video digital. Los estándares MPEG, MPEG2, MPEG3 y MPEG4, ampliamente utilizados por la industria musical y cinematográfica, fueron creados por este grupo de expertos. El estándar de compresión de video MPEG2 se utiliza en casi todas las transmisiones digitales modernas y también en los DVD.

El sistema japonés ISDB-T utiliza el códec de video MPEG2 y para su transporte el contenedor llamado MPEG2-TS, que incluye 16 bytes del código de corrección de errores Reed-Solomon.

Los códec de video, como MPEG2 o H.264 explotan las correlaciones espaciales y temporales internas dentro de un video de manera de comprimir lo más posible la información que se transmite. Gracias a esto se puede disfrutar del video *online* en internet desde el hogar. El MPEG2 y H.264 definen diferentes tipos de cuadro: I, P y B. Los I sirven de fotografía de referencia para todos los cuadros de una serie o grupo. Son por la misma razón, los cuadros más pesados dentro cualquier video. Los P dependen del I inicial, de su serie y de otros cuadros P anteriores. Los B dependen del I inicial, así como de cuadros P anteriores y posteriores.

El códec H.264 es una generación posterior al MPEG2 y corresponde al más avanzado estándar de compresión de video del momento. En general, ofrece la misma calidad de imagen de MPEG2, pero usa tan solo la mitad de la tasa de datos de este último. Así la misma calidad de video Full HD que se transmite con 18 Mbps en MPEG2 requiere menos de 10 Mbps en H.264. Eso ofrece una enorme ventaja desde el punto de vista de ahorro de ancho de banda.

1.5.2. Codificación de televisión digital

Codificación de audio: así como se puede explotar la correlación temporal y deshacerse de la información perceptual menos relevante en un video, se puede hacer lo mismo con el audio. El códec de audio utilizado en el estándar ISDB-T es el Advanced Audio Coding (AAC) el cual, generalmente ofrece una mejor calidad que su predecesor MP3 para la misma tasa de transmisión de

datos. El códec de AAC permite la transmisión de sonido estéreo (dos canales) a tan solo 96 Kbps. Sin embargo, para cumplir con el altísimo estándar de calidad de transparencia de sonido definido por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) (International Telecommunications Union), los dos canales de sonido estéreo se transmiten a 128 Kbps. La tasa de transferencia requerida para cumplir con el mismo estándar de transparencia de sonido en el caso de 5.1 canales es 320 Kbps. El funcionamiento de esta maravilla tecnológica se basa en el uso de una herramienta matemática conocida como la Transformada Discreta del Coseno Modificada, con la que se pasa la señal del dominio del tiempo al de la frecuencia. Una vez que la señal se encuentra representada en la frecuencia se muestrea de acuerdo a un cierto nivel de cuantización pasándola a un formato digital.

En el proceso de cuantización se sigue un modelo físico-acústico que elimina los sonidos que resultan imperceptibles para un ser humano. Luego de agregar códigos de corrección de error la señal puede ser almacenada localmente como un archivo o transmitida en tiempo real. Vale la pena mostrar uno de los teoremas más importantes para la digitalización de una señal: el teorema de Nyquist-Shannon o teorema del muestreo Nyquist y Shannon son dos de los científicos más relevantes en el área de las telecomunicaciones y su trabajo, ha conformado la base de lo que hoy se conoce como teoría de la información.

El enunciado del teorema puesto en palabras simples dice: “Cualquier señal cuya máxima componente de frecuencia sea B Hertz puede ser representada perfectamente por una señal digital cuyas muestras han sido tomadas en intervalos de tiempo de $1/(2B)$ segundos”.

El ejemplo del sonido: el oído humano puede percibir sonidos solo entre frecuencias de 400 y 22 mil Hertz. Así, para representar perfectamente un sonido perceptible por un ser humano en formato digital se necesita tomar muestras del sonido al doble de 22 mil Hertz, vale decir 44 mil Hertz, lo que equivale a tomar 44 mil muestras por segundo. Esa frecuencia de muestreo asegura que la señal digital resultante será una perfecta representación de la señal analógica original, al menos para el oído humano. El formato AAC permite frecuencias de muestreo de entre 8 kHz y 96 kHz. La máxima frecuencia de muestreo de 96 kHz permite en teoría, representar sonidos con frecuencias de hasta 48 kHz, lo que sin duda asegura una calidad mayor a la que cualquier ser humano es capaz de percibir. Por otra parte, la frecuencia de muestreo de 8 kHz permite escuchar sonidos con frecuencias de hasta 4 kHz, cuya calidad equivale aproximadamente a la de una conversación telefónica. El enorme rango de frecuencias de muestreo ofrecido por AAC asegura la disponibilidad de cualquier calidad que se desee para esta aplicación. El estándar AAC se puede oír en dispositivos tan populares como el iPhone, el iPod, el Playstation 3, Sony Walkman, o el Nintendo Wii y por supuesto también en los estándares de televisión digital, incluido el ISDB-T.

Codificación digital para televisión convencional: se han propuesto dos métodos diferentes para la codificación. Uno de ellos es: codificación de componentes; en este método las componentes de las señales de luminancia y de diferencia de color se codifican por separado se transmiten juntas como trenes de bits independientes multiplexados en el tiempo. Cuando la señal de televisión en color se encuentre en la forma compuesta NTSC, PAL o SECAM, sería necesario separar primero la señal en sus componentes de luminancia y de diferencia de color. Este método ofrece varias ventajas, es posible transmitir la señal en forma digital desde su origen al transmisor de radiodifusión. Solo en este último será necesario generar la señal compuesta. Al menos en el terreno

de la transmisión, desaparecerían las diferencias entre los sistemas NTSC, PAL y SECAM, lo que simplificaría los problemas relacionados con el intercambio internacional de programas CCIR, excepto en los casos en que intervienen diferentes normas de barrido.

Codificación compuesta: en este método, la señal compleja de color se codifica en su forma compuesta como un solo tren de bits. Se considera ventajoso cuando la cadena completa está constituida por varias secciones digitales y analógicas en tándem, como es probable que ocurra durante el periodo en que se introduzcan las técnicas digitales en radiodifusión. Los recientes desarrollos tecnológicos, sobre todo en materia de almacenamiento mediante memorias de semiconductores y de grabación en cinta magnética, han abierto nuevas y prometedoras perspectivas con respecto al proceso electrónico de la imagen y a los efectos especiales.

La codificación de componentes permite una norma mundial uniforme, salvo para la frecuencia de trama que podría ser conmutable, los estudios en todo el mundo utilizarían muchos elementos de equipos comunes, y se simplificaría mucho la producción y el intercambio de programas. Las características de la señal digital

- Niveles de la señal digital
- Forma de codificación
- Margen dinámico

Requisitos de interfaz digital

- Interfaces paralelo y serie
- Palabras de sincronización, número de bits

- Señales digitales de prueba
- Requisitos para el tratamiento de la imagen digital
- Requisitos para la supresión de trama horizontal y vertical
- Modificación del tamaño de imagen que puede conseguirse mediante los procesos de edición.

Métodos de codificación: los procesos iniciales son el muestreo y la cuantificación.

- Anchura de banda y muestreo: regido por tres factores básicos
 - La estructura de muestreo, la posición relativa de las muestras en el espacio y el tiempo.
 - El número de muestras por línea.
 - El proceso de filtrado que puede ser de una, dos o tres dimensiones.

La frecuencia de muestreo tiene que ser igual o superior al doble de la frecuencia más alta de la señal, correspondiente al muestreo de Nyquist. Sin embargo, en un estudio nuevo se encontró que en la práctica funciona a frecuencias de muestreo más bajas, es decir debajo del límite de Nyquist.

Señales complejas: puede aplicarse el muestreo por debajo del límite de Nyquist muestreando la señal compleja PAL a razón de dos veces la frecuencia de subportadora. El códec digital para este muestreo utiliza un filtrado que introduce pequeñas pérdidas en la resolución de luminancia diagonal y en la resolución de crominancia vertical. Un filtrado adicional de este tipo en todo

proceso subsiguiente de muestreo sub-Nyquist, no debiera introducir ninguna degradación de la resolución. En el sistema M/NTSC, se tiene tendencia a utilizar una frecuencia de muestreo tres o cuatro veces superior a la frecuencia subportadora de color. La técnica de muestreo sub-Nyquist ha sido también utilizada con señales NTSC.

MIC lineal: el tipo básico de codificación digital toma el valor de cada palabra digital, representa la amplitud cuantificada uniformemente de una muestra de la señal de banda base.

Un estudio sobre códec MIC utilizando 8 bits por muestra indica la importancia de la calidad de funcionamiento del codificador/decodificador básico y de los circuitos asociados al determinar el funcionamiento de una cadena de codecs en cascada.

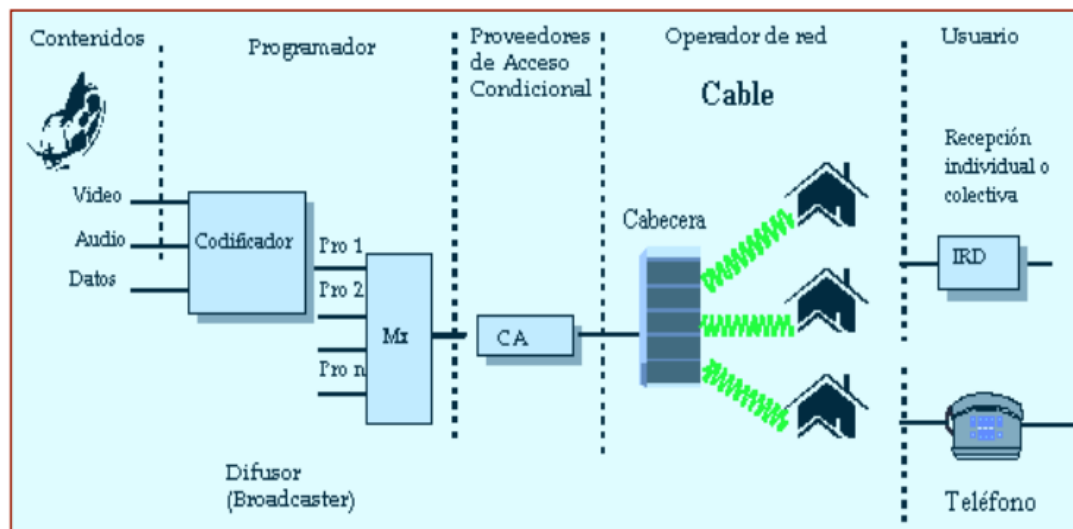
Revisten particular importancia los siguientes factores: filtros anteriores y posteriores; estabilización del nivel de supresión; distorsión de cuantificación, sobre todo en señales con subidas o bajadas muy pronunciadas; temblores de fase de la señal de reloj; no linealidad en frecuencias medias.

2. PLATAFORMAS DE TELEVISIÓN DIGITAL

2.1. Televisión digital por cable

Se refiere a la transmisión de la señal digital de televisión por medio de redes híbridas de fibra óptica y cable coaxial, HFC., junto con la señal de televisión digital; a través de estas redes se pueden proporcionar otros servicios como telefonía fija y acceso a internet.

Figura 11. Televisión digital por cable



Fuente: *Transmisión de video digital por satélite.*

<http://www.gtlic.ssr.upm.es/soci/regulaci/tvdigital/modtvdigit.htm>.

Consulta: 20 de noviembre de 2014.

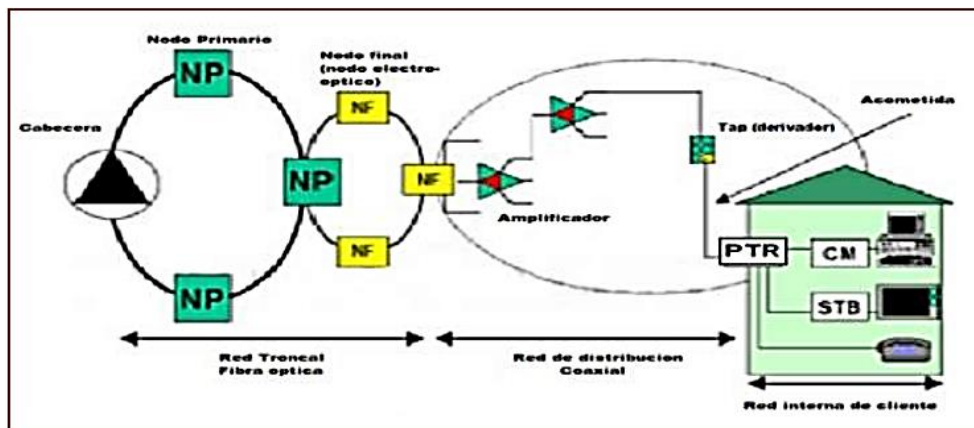
Las redes utilizadas en la distribución de este tipo de servicios se dividen en cuatro secciones:

- Cabecera
- Red troncal
- Red de distribución
- Red de acometida hacia los abonados

La cabecera por medio de red de cable es el centro desde el que se gobierna todo el sistema, aquí se sitúan los equipos de recepción, tratamiento y transmisión de las señales de televisión, así como enlaces con otras cabeceras o estudios de producción.

La cabecera por medio de red de cable es también la encargada de monitorear la red y supervisar su correcto funcionamiento. Su complejidad dependerá de los servicios que a de prestar la red.

Figura 12. Elementos de una red HCF



Fuente: *Transmisión de video digital por satélite*. <http://www.gtic.ssr.upm.es/soci/regulaci/vtdigital/modtvdigit.htm>. Consulta: 20 de noviembre de 2014.

La red troncal está conformada por la red primaria de fibra óptica, suele seguir topologías en forma de anillos redundantes que une la cabecera con un conjunto de nodos primarios; estos alimentan a otros nodos (final) y dan lugar a la red troncal secundaria, la cual tiene un nivel de cobertura de la red menor que la red troncal primaria. En estos nodos finales, las señales ópticas se convierten a señales eléctricas y se distribuyen a los hogares de los abonados a través de una estructura tipo bus de coaxial. Cada nodo terminal tiene capacidad para unos pocos hogares, lo cual permite emplear cascadas de 2 o 3 amplificadores de banda ancha como máximo. Dentro de la red de distribución se diferencian tres partes.

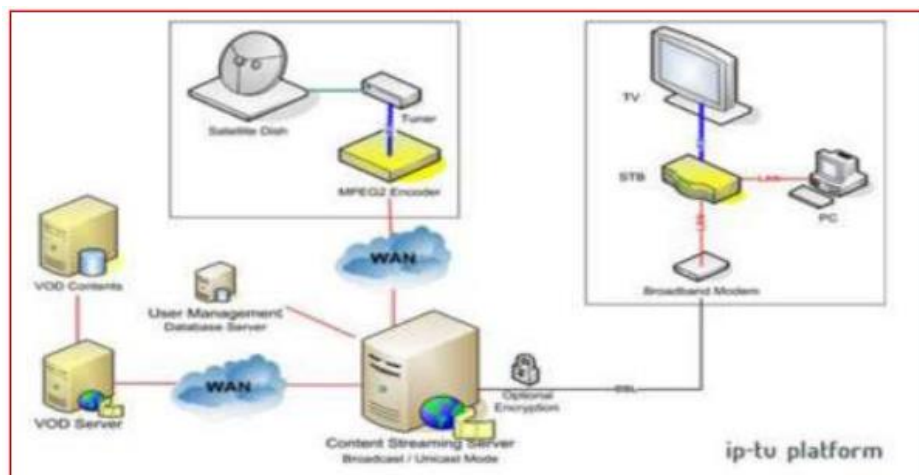
- La red de distribución coaxial encargada de la conexión del nodo final con el punto de conexión de red, (PTR), es un cajetín que se encuentra en el domicilio del abonado y separa la red interna del abonado y el cable exterior. Se considera parte de la red del operador de telefonía, es justo a partir de él donde comienza la propiedad del abonado
- La red de acometida va desde la última derivación hasta la base de conexión de abonado, es el último tramo de red al edificio. La red de distribución y la de acometida a los abonados comúnmente se le conoce como la red de última milla.
- Finalmente, la red interior de cliente: está formado por el cable donde se distribuyen los servicios en el interior del domicilio. Entre las ventajas de este modelo están: tiene canal de retorno, no está sujeta a interferencias, con lo cual se tiene alta calidad de imagen y sonido, además tiene capacidad de conducir un alto número de canales. Entre las desventajas están: es un servicio cerrado y tiene elevados costos de implementación. Este modelo es conveniente para cobertura local con

posibilidades de regional y nacional, todo dependerá del área de cobertura de la empresa operadora de cable.

2.2. IPTV protocolo de televisión IP

La televisión digital IP, también conocido como internet *protocol televisión* (IPTV). Se ha desarrollado basándose en el *video-streaming*. Este sistema consiste en que la reproducción de los clips o las películas no requiere una descarga previa por parte del usuario, sino que el servidor entrega los datos de forma continua, sincronizada y en tiempo real (al mismo tiempo que se envía, se está visualizando el video con su audio). Entre las ventajas de este modelo están: que la red de distribución ya está desplegada y aprovecha al máximo el ancho de banda para conseguir velocidades de varios Mbps en canal descendente. La desventaja es que el despliegue de este modelo dependerá de la disponibilidad de equipos en centrales.

Figura 13. **Modelo de televisión digital IP**



Fuente: *Transmisión de video digital por satélite*. <http://www.gtlic.ssr.upm.es/soci/regulaci/tvdigital/modtvdigit.htm>. Consulta: 25 de noviembre de 2014.

2.3. Televisión por satélite

La tecnología de satélite es la que cuenta con un mayor número de clientes alrededor del mundo, y la que ha adoptado de forma más rápida el proceso de digitalización, gracias en gran medida a su menor coste de actualización. La fusión de las plataformas vía digital y canal satélite digital, la creciente competencia del cable, y un modelo de negocio basado en mantener un precio de entrada alto en los paquetes básicos, ha provocado un continuado descenso de los clientes de esta plataforma.

2.3.1. Historia

Desde 1957, año en que el hombre puso en órbita el primer satélite, se han puesto en órbita otros miles, con diversas finalidades, entre ellas, las telecomunicaciones. Esta modalidad utiliza satélites de comunicaciones para la transmisión de la señal de televisión en formato digital. En el año 1962, utilizando el satélite Telstar 1 o el lanzamiento del primer satélite de radiodifusión directa (DBS), el Ekran, pensado para la recepción de señal de televisión a casa. El uso de satélites de comunicaciones se ha extendido hasta el punto en que existen en la actualidad más de 300 satélites de comunicaciones en órbita geoestacionaria, emitiendo señales de televisión en cualquier parte del mundo. La televisión digital por satélite surge en 1994 en EE.UU., un país en el que el cable llegaba ya a 59 689 070 de hogares.

El desarrollo de la televisión digital se materializa gracias a la tecnología que posibilita la compresión digital, lo que permite multiplicar por siete o más los canales que se podían transmitir por un solo transpondedor de satélite. Se debe tener en cuenta además, que en el caso estadounidense existía un desarrollo importante de la televisión multicanal propiciada por el cable. El mercado

proporcionaba una programación más que suficiente. Los canales digitales solo tenían que adquirirla.

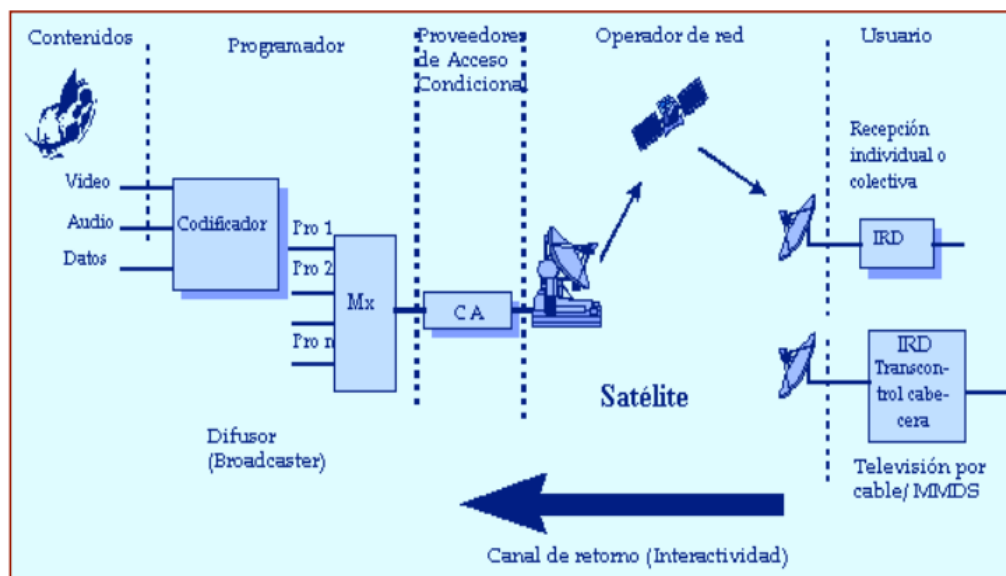
El satélite hasta la aparición de la televisión digital alimentaba las cabeceras de los operadores del cable. Para aquellos usuarios que disponían de parabólica era también un canal de acceso a otros canales televisivos. La televisión digital hace del satélite una fuente de transmisión al hogar de una televisión multicanal y temática. Esta nueva televisión supone una ruptura del concepto clásico de parrilla de programación siempre identificado con la televisión generalista. Existen dos dinámicas en el mundo de la comunicación: la agregación de audiencias que se identifica con aquellos productos de las industrias culturales (libros, discos o películas), que interesan a la mayor parte del público y la disgregación de audiencias que tiene que ver con los gustos de pequeñas audiencias por cuestiones especializadas.

En la transmisión por satélite se distinguen dos tramos: el enlace ascendente, mediante el cual se produce el envío de información desde el centro emisor al satélite y el enlace descendente que transmite esta información desde el satélite de comunicaciones hacia la zona que este cubre en la superficie terrestre, para evitar interferencias entre ambos enlaces, cada uno de ellos utiliza una banda de frecuencias diferente. La mayoría de transmisiones por satélite está codificada digitalmente. Esto permite ofrecer más canales de televisión, utilizando la misma cantidad de ancho de banda. Este sistema está formado por la estación transmisora, ubicada en el país o fuera del mismo y las estaciones receptoras de dichas señales (antena parabólica receptora, equipo decodificador), ubicadas en cualquier lugar del país.

2.3.2. Funcionamiento

La televisión digital por satélite está formado por una o más estaciones terrestres encargadas de enviar la señal de TV a un satélite operacional que se encuentra en órbita geoestacionaria constituyendo lo que se llama enlace ascendente. La órbita geoestacionaria, conocida también como órbita de Clarke que está a una altura de 35 786,04 kilómetros sobre el nivel del mar, en el plano del Ecuador, tiene una excentricidad nula debido a que su latitud siempre es igual a 0°, lo cual resulta útil para los satélites ubicados en esta órbita, ya que parecen estacionarios respecto a un punto fijo de la Tierra en rotación.

Figura 14. Modelo de televisión digital por satélite



Fuente: *Transmisión de video digital por satélite.*

<http://www.gtic.ssr.upm.es/soci/regulaci/tvdigital/modtvdigit.htm>.

Consulta: 30 de noviembre de 2014.

A su vez, el satélite envía la señal de nuevo a la Tierra, formando el enlace descendente. Esta señal puede ser recibida por estaciones individuales de solo recepción o de teledistribución. Para evitar interferencias entre las dos señales, las frecuencias de ambas son distintas.

Entre las ventajas de este modelo están: es de cobertura inmediata, tiene un gran ancho de banda, es flexible y dispone de un alto número de canales. La desventaja principal es la carencia de un canal de retorno. Los satélites de transmisión son especialmente convenientes para regiones en donde escasea una buena red de comunicación o están lejos de los grandes sistemas urbanos, y para llegar con la programación a grandes distancias.

2.4. Televisión digital terrestre (TDT)

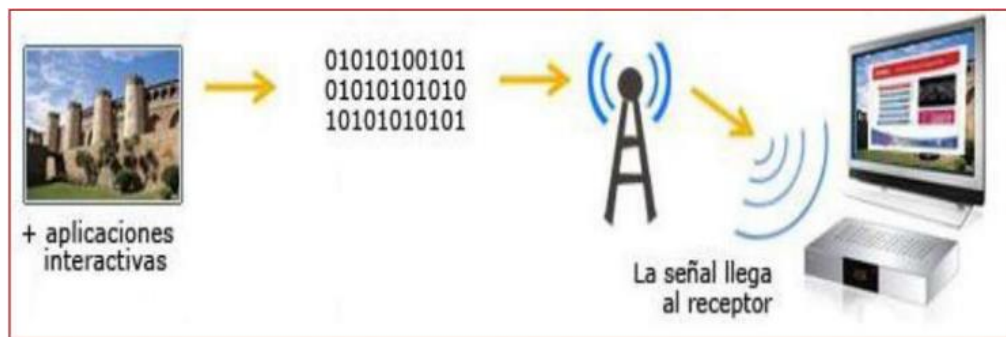
Representa la evolución de la televisión tal y como hoy se conoce el formato digital. El proceso de transición de la televisión analógica terrenal a la digital terrenal ha venido, inicialmente marcado por el interés de los gobiernos por aprovechar de forma más eficiente el espectro, actualmente utilizado por la televisión analógica, por ampliar la oferta de canales, y por impulsar los nuevos servicios y facilidades que podrá ofrecer la televisión digital.

2.4.1. Características

La televisión digital terrestre consiste en enviar señales digitales de televisión mediante transmisores de televisión digital, usando como medio de transmisión ondas hertzianas. En el medio de transmisión, las ondas no difieren de la televisión analógica, sin embargo, enviar la señal de forma digital, permite un mejor aprovechamiento del canal usado, con lo cual se puede enviar más información y de mayor calidad, sin que se vea alterada. Las ondas hertzianas

son electromagnéticas de menor frecuencia (y por ello mayor longitud de onda) y menor energía que las del espectro visible. Se generan alimentando una antena con una corriente alterna.

Figura 15. **Envío de información por medio de ondas hertzianas**



Fuente: *Transmisión de video digital por satélite*. <http://www.gtic.ssr.upm.es/soci/regulaci/vtdigital/modtvdigit.htm>. Consulta: 5 de diciembre de 2014.

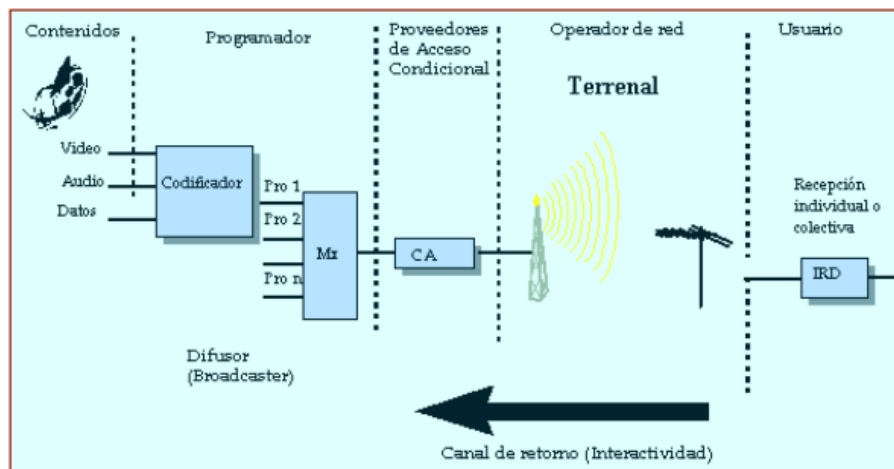
La red de distribución primaria transporta los paquetes MPEG desde los estudios de televisión hasta los centros remultiplexores y los centros transmisores. Se consideran diversas posibilidades para la red primaria, entre las que se incluyen fibra óptica, redes PDH (Plesichronous Digital Hierarchy) o SDH (Synchronous Digital Hierarchy), ATM o satélite. Una red completa constará seguramente de una combinación de todas las anteriores. Este modelo de televisión digital requiere de un equipo terminal con la posibilidad de recibir la señal de televisión y la variedad de servicios que vienen integrados. Estos equipos incluyen un software compatible con el sistema de televisión digital que se distribuye en cada área.

La Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH) es una tecnología usada en telecomunicación, tradicionalmente para telefonía que permite enviar varios

canales telefónicos sobre un mismo medio (cable coaxial, radio o microondas), usando técnicas de multiplexación por división de tiempo y equipos digitales de transmisión. La Jerarquía Digital Síncrona (SDH) (Synchronous Digital Hierarchy), se puede considerar como la revolución de los sistemas de transmisión, como consecuencia de la utilización de la fibra óptica como medio de transmisión, así como de la necesidad de sistemas más flexibles y que soporten anchos de banda elevados.

Este modelo de televisión digital es accesible para todos, lo cual es una gran ventaja frente a los otros modelos, garantiza el acceso universal a la televisión digital y a las ventajas de esta tecnología, además permite un mejor uso del espectro radioeléctrico. La principal dificultad que presenta es la carencia de un canal de retorno. Este modelo es conveniente para cobertura nacional, regional y local con posibilidades de desconexiones locales.

Figura 16. **Modelo de televisión digital terrestre**



Fuente: *Transmisión de video digital por satélite*. <http://www.gtlic.ssr.upm.es/soci/regulaci/tvdigital/modtvdigit.htm>. Consulta: 6 de diciembre de 2014.

2.4.1.1. Ancho de banda

Cualquier señal continua y periódica en el tiempo que se transmite a través de un medio físico como un cable, fibra óptica o el aire puede ser representada como la suma de señales sinusoidales, esta es una señal que se repite en el tiempo de forma cíclica y que está caracterizada por una frecuencia, una amplitud y una fase. El análisis matemático fue realizado por el matemático y físico francés Joseph Fourier, quién creó esta herramienta mientras estudiaba la propagación del calor. El análisis de Fourier y, en particular, la transformación de Fourier se han transformado en herramientas matemáticas fundamentales en todas las especialidades de la ingeniería. En el caso de una señal electromagnética cualquiera, su ancho de banda queda determinado por el rango de frecuencias donde se encuentran sus componentes más significativas. En el caso de la voz humana, las componentes de frecuencia más significativas se encuentran entre los 300 y los 3 400 hertz, mientras que en los canales de audio hasta los 15 000 hertz. La multiplexación permite transmitir varias comunicaciones separadas a través de un medio o canal compartido. Existen cuatro tipos principales de multiplexación dependiendo del canal físico donde se efectúa, a saber:

- En el tiempo
- En la frecuencia
- En el espacio
- Por códigos ortogonales (CDMA)

Este último tipo de multiplexación se denomina, comúnmente CDMA, por sus siglas en inglés y es la base de los sistemas 3G o de tercera generación de comunicaciones móviles que se utilizan en la actualidad. El espectro está legislativamente dividido en canales de 8 MHz (hasta un total de 49). La

modulación mediante COFDM permite obtener unas señales cuadradas que se ajustan en gran medida al ancho de banda asignado a cada canal, por lo que las emisiones digitales no saturan los canales de emisión adyacentes, como sí ocurría en las emisiones analógicas. Esto da como posibilidad la utilización de canales adyacentes, sin temor a que se produzcan incompatibilidades, por lo que se redonda en el uso eficiente del espacio radioeléctrico.

OFDM ofrece dos modos distintos para definir la onda portadora: 2K carriers plus QAM y 8K carriers plus QAM. El primero corrige el efecto Doppler para favorecer la recepción en movilidad, mientras que el segundo otorga una mayor robustez y protección agregando más subportadoras. La modulación de las señales se realiza en 64QAM (Quadrature Amplitude Modulation), un tipo avanzado de modulación digital, que permite definir un total de 64 estados diferentes. La configuración utilizada proporciona un total de 19,91 Mbps (Megabits por segundo) a través de cada canal, que puede ser utilizado libremente por los operadores para la difusión simultánea de varios canales de vídeo (TV), varios de audio (radio), aplicaciones interactivas MHP u otros servicios (EPG, EPG extendida, entre otros).

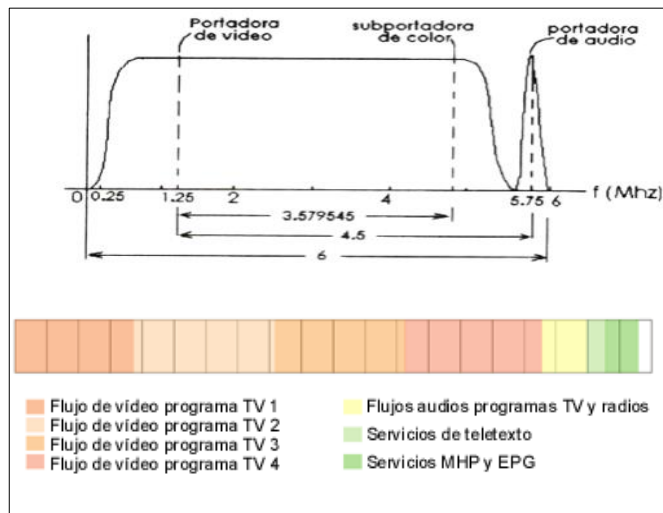
Los canales de televisión se envían codificados en la Norma MPEG-2, que ofrece una calidad de imagen muy superior, aun con una menor tasa de datos a la de MPEG-1, su antecesora. MPEG-2 es la Norma utilizada en el popular formato DVD, y es lo suficientemente flexible como para permitir a los operadores configurar determinados parámetros que les permitan aprovechar al máximo su ancho de banda disponible, manteniendo el debido compromiso con la calidad de imagen y sonido. Si bien la tasa de datos utilizada en el soporte DVD es, por lo general, más elevada a la que se ofrece a través de las emisiones de televisión digital, el formato MPEG-2 permite seguir ofreciendo una calidad de imagen muy superior a la que en muchos casos se reciben por

vía analógica, llena de nieve, rayas, doble imagen, entre otros. El formato MPEG-2 necesita alrededor de 3,5 Mbps para cada flujo de vídeo estándar que se envía, lo que le permite ofrecer una calidad de imagen aceptable. Si ese flujo de vídeo contiene imágenes con gran cantidad de variaciones y movimientos (caso de retransmisiones deportivas, películas de acción), el ancho de banda que se recomienda consumir asciende a entre 4,5 y 6 Mbps.

En la actualidad existe una Norma más avanzada, MPEG-4, que realiza una codificación más eficiente, ofreciendo mayor calidad de imagen con una tasa menor de información, e incluso mostrando capacidades de visualización de objetos 3D. MPEG-4 ofrece un perfil básico (MPEG-4 parte 2) y otro avanzado (MPEG-4 parte 10), denominado H.264. Esta Norma, H.264, permite ofrecer vídeo de alta calidad (24 imágenes por segundo) con tasas relativamente bajas de datos, y se perfila como una de las normas del futuro reciente. Así, permite ofrecer vídeo con resolución 176x144 (10-15 imágenes por segundo) con unos 55 Kbps, vídeo con resolución 640x480 con entre 1 y 2 Mbps, vídeo con resolución 1 280x720 (alta definición) con 6 Mbps y vídeo con resolución 1 920x1 080 (alta definición completa) con 8 Mbps. En el caso de la emisión de audio (radios, canales de sonido de los canales de TV), la tasa mínima que mantiene una calidad de audio similar a la del CD es de 192 Kbps para emisiones estéreo.

Por debajo de esa tasa, el audio ofrece una calidad mediocre y no resulta fiel al audio original que se pretende emitir. La tecnología digital permite también, la emisión de audio en formato dolby digital - AC3, que da la posibilidad de recibir hasta seis canales diferenciados de audio, con una codificación muy eficiente, y control de los parámetros de operación de una estación de transmisión de televisión abierta NTSC.

Figura 17. **Ancho de banda televisión digital terrestre, frecuencia en el canal estándar de TV de 6 MHz**



Fuente: *Ancho de bandas y formatos de emisión*. http://www.mundoplus.tv/zonatdt/datos_tecnicos_tdt_estandares.php. Consulta: 8 de diciembre de 2014.

En la figura 17 se muestra el uso medio que en la actualidad realizan los operadores del ancho de banda disponible. El canal de 8 MHz presenta 20 divisiones, que representan cada espacio de un megabit por segundo que pueden transmitir, hasta alcanzar el total de 19,91 Mbps de que disponen. Cada fragmento de color representa un uso concreto: flujos de vídeo (imagen) para los distintos programas de televisión que se emiten, flujos de audio para el sonido de los programas de TV, así como para emisiones complementarias de emisoras de radio, servicios de teletexto y otros servicios bajo el estándar MHP o de información de programación (EPG).

Como se puede apreciar, la mayor parte del ancho de banda consumido es destinado a la emisión de los flujos de imagen de los programas de televisión. La capacidad de un canal de televisión digital puede subdividirse en múltiples subcanales para transmitir diversa información de vídeo en distintas

resoluciones para dispositivos fijos y móviles, audio y otros datos, a diferencia de lo que ocurre en los sistemas analógicos tradicionales. Cuando una banda de frecuencia contiene múltiples subcanales se le denomina *múltiplex*. La banda de frecuencias 470 a 862 MHz se utiliza para la prestación de servicios de televisión terrestre con tecnología digital, la banda de frecuencias 470 a 790 MHz se utilizará para la prestación de los servicios de televisión terrestre con tecnología digital, y la subbanda 790 a 862 MHz se destinará para sistemas terrenales capaces de prestar servicios de comunicaciones electrónicas.

Cada estación de televisión tiene un canal de 6 MHz dentro de una de las siguientes bandas asignadas a la difusión comercial de televisión:

- 54 a 88 MHz para los canales VHF de banda baja 2 a 6
- 174 a 216 MHz para los canales VHF de banda alta 7 a 13
- 470 a 890 MHz para los canales UHF 14 a 83

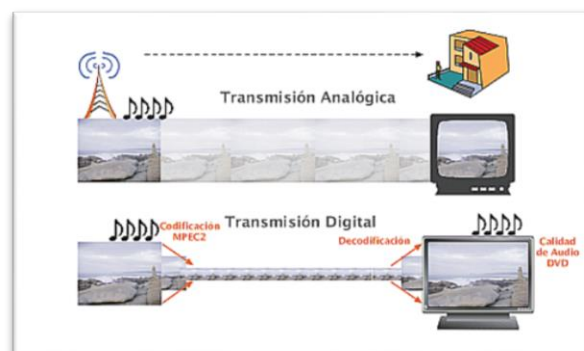
En cada canal están incluidas ambas señales portadoras de radio frecuencia de imagen y sonido. Cada canal se utiliza para las señales de imagen y sonido.

2.4.1.2. Imagen y sonido

La transmisión digital permite solucionar los problemas de calidad de imagen y sonido tradicionalmente asociados a la televisión analógica. La digitalización de la tecnología trae consigo una televisión sin ruidos, interferencias, ni doble imagen. El resultado de la televisión digital son señales mucho más robustas, asegurando de este modo la correcta recepción de los contenidos que los espectadores estén visualizando y con una percepción subjetiva de mucha mayor calidad de imagen y sonido por parte de los mismos.

En la práctica, el efecto de la digitalización de la señal de televisión es que las imágenes o bien se ven con alta calidad o no se ven en absoluto, consiguiéndose una mayor protección de la calidad de las mismas frente a las diversas interferencias que se puedan presentar en su recepción.

Figura 18. **Imagen y sonido**



Fuente: *Transmisión de video digital por satélite*. <http://www.gtlic.ssr.upm.es/soci/regulaci/tvdigital/modtvdigit.htm>. Consulta: 9 de diciembre de 2014.

Esta mayor robustez es una de las ventajas fundamentales asociadas a la digitalización. A diferencia de una señal analógica en donde la imagen se degrada progresivamente a medida que la señal se ve afectada en su camino por ruido, interferencia, distorsión, entre otros. La imagen que produce una señal digital puede verse perfectamente bien hasta el punto en que las perturbaciones afecten tanto a la señal, que esta ya no pueda ser regenerada mediante la aplicación de las técnicas de corrección de errores que constituyen una parte integral, y esencial de la televisión digital terrestre. Otra mejora de la calidad de imagen en TDT puede asociarse a que presenta entre sus principales características: técnicas y la emisión en formato panorámico.

Los operadores ofrecerán progresivamente más contenidos con formato de la imagen, en este formato (16/9) más adecuado para una gran parte de los

contenidos de mayor valor para los usuarios. No solo hay ventajas en TDT asociadas a la calidad de imagen, también la calidad del sonido se ve beneficiada al poderse disponer de una calidad similar a la de un CD, así como de bandas de sonido en diferentes idiomas como es el caso de un DVD tradicional. El sonido producido por la TDT es asimismo compatible con los modernos sistemas de sonido del tipo "cine en casa". Los espectadores podrán disfrutar en definitiva de una calidad similar en audio y video a la de un DVD, pero a través de la señal de la antena, aunque la calidad final puede verse limitada en algunos casos por el grado de compresión de la señal de video que se utilice (en comparación, por ejemplo con la visualización de una película a través de un DVD).

2.4.1.3. Emisiones de televisión

La tecnología digital permite la oferta de canales temáticos en sistema de multidifusión, es decir, se repiten los mismos contenidos durante varios días a distintas horas, lo que posibilita el consumo de la programación que a uo le interese en el horario que mejor convenga.

Esto introduce un cambio radical en el consumo televisivo, la televisión ya no impone necesariamente sus horarios o rutinas: es uno mismo quien planifica y distribuye el tiempo de ocio, formación o información ante el televisor. Desde el punto de vista del modelo de negocio, la multidifusión le permite al programador llenar más horas con menos contenido, lo que abarata costes; incluso se puede conformar la programación de diversos canales con los mismos contenidos, pero en distintas franjas horarias. Así se da la oferta de cine, de canales especializados en series de televisión, canales informativos, deportivos, musicales o de documentales. Esta es la base sobre la que se

conforma la oferta de emisiones de televisión y surgen empresas especializadas, precisamente en empaquetar contenidos para estos canales.

Los factores dentro de la emisión de televisión son los siguientes.

- Proveedor de servicios: proporciona servicios y contenidos interactivos. Puede ser, por ejemplo, un banco que ofrezca datos financieros a sus clientes mediante una pasarela segura, o el proveedor de información meteorológica para la aplicación del tiempo.
- Proveedor de contenidos: suministra contenidos de televisión y radio. Transmiten sus contenidos vía satélite o por cable al centro de emisión del operador.
- Servidor de aplicaciones: se encarga de preparar las aplicaciones para su codificación antes de la emisión. Integra datos (posiblemente en tiempo real) de los proveedores de servicios.
- Centro de emisión: es la entidad que recoge las señales de los proveedores de contenidos y las prepara para su codificación y emisión.
- Encoding/Mux: codifica la información de vídeo, audio y datos (servicios interactivos), convirtiéndola en paquetes MPEG-2(modulación). Encripta esta información mediante el sistema de acceso condicional de la plataforma. Por último, combina (o multiplexa) toda la información (vídeo, audio y datos) para poder transmitir los paquetes MPEG uno detrás del otro (también llamado *stream* MPEG).

- STB Set-Top Box (Descodificador): dispositivo conectado a la TV de cada hogar que se encarga de descodificar la señal y comprobar los derechos del abonado, según el algoritmo del sistema de acceso condicional del operador. Descodifica la señal MPEG-2 para convertirla en señal analógica que se envía al TV (demodulación). Así pues, la nueva base de la tecnología digital posibilita una mayor capacidad de transmisión, es decir, potencia la posibilidad de transmitir un mayor número de canales.

2.4.1.4. Servicios adicionales

La TDT, debido a su mejor aprovechamiento del espectro de radiofrecuencia, permite que los espectadores se conviertan en una parte algo más activa del mundo de la televisión. Se abre el camino a servicios que la televisión analógica tradicional no podía ofrecer: canales de radio, teletexto digital, servicios interactivos, tales como: votaciones y encuestas, guía electrónica de programación, información de servicios públicos como tráfico, aeropuertos, meteorología.

Las técnicas de compresión del códec H.264 tienen un video de súper alta definición con tan solo 6 Mbps. Pero la tecnología de compresión de video no para allí, sino que la estandarización del futuro códec H,265 ya habla de una eficiencia 4 veces mayor a la alcanzada por el H,264, se puede apreciar la misma calidad de imagen que nos ofrece actualmente un video en formato H,264 de 6 Mbps con un video en formato H.265 de tan solo 1,5 o 2 Mbps.

La mejor pantalla del hogar que ha ofrecido durante décadas, contenido radiodifundido a ofrecer los programas favoritos en el día y a la hora que se quiere, sin necesidad de grabarlos, la posibilidad de realizar búsquedas de

contenido específico, conexión a sitios gratuitos como YouTube o bien de contenido prime o pagado como Netflix, entre otros. Por otro, lado los servicios de video para todo tipo de dispositivos móviles continuarán diversificándose y masificándose durante los próximos años a medida que bajan los costos de los teléfonos inteligentes y estos continúan volviéndose técnicamente más poderosos.

El estándar ISDB-T junto con los demás estándares de televisión digital constituye solo un primer paso de las industrias audiovisual y de radiodifusión hacia un mundo completamente digitalizado de creación y distribución de contenidos basado en la integración de múltiples plataformas de servicios y distribución, destinados a todo tipo de receptores, fijos y móviles.

3. TECNOLOGÍA DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE

3.1. Tecnología de la televisión digital terrestre (TDT)

La introducción de la televisión digital terrestre en Guatemala puede ser parte de un cambio tecnológico en el devenir de cualquier industria o una verdadera oportunidad para transformar notablemente el modo en que se ve la televisión.

Sin caer en la ingenuidad de la neutralidad de las tecnologías, pero tampoco en la falsa ilusión del cambio sustancial solo por la tecnología. Al no haber tecnología neutra y de ser necesario elegir un estándar de TDT, es importante tener en claro las posibilidades que ofrecen los distintos estándares reconocidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones. Es necesario debatir intensamente qué televisión se quiere y de qué manera utilizar las posibilidades que acarrea consigo la televisión digital para acercarse a ese ideal que se haya delineado.

La adopción de tecnologías digitales es un proceso en el que voluntariamente se involucran empresas de servicios de telecomunicaciones y de radiodifusión, considerado que las nuevas tecnologías permiten reducir los costos de dichas empresas al utilizar de manera más eficiente sus medios de transmisión existentes, así como aumentar sus ingresos al permitir la prestación de nuevos servicios sobre la misma infraestructura. Pero la adopción de tecnologías digitales por las empresas de telecomunicaciones y radiodifusión puede no ser un proceso de adopción tecnológica voluntaria. Es

también un proceso guiado y apoyado por la regulación por razones de interés pública.

La tecnología en sistemas de recepción deben de tener televisión en alta definición, el usuario debe disponer de un receptor capaz de recibir y reproducir imágenes en este formato. Por lo tanto, se precisa de una pantalla en alta definición y, al menos, uno de los siguientes dispositivos: decodificador (terrestre, satélite o IPTV) en alta definición, reproductor de bluray, videocámara de alta definición, o consola de videojuegos que reproduzca imágenes a esta resolución. Además, si dispone de un sistema de audio multicanal, la experiencia en alta definición es todavía más satisfactoria. Se debe prestar especial atención a las conexiones de los diversos dispositivos a la televisión. Debido a que la señal de vídeo en alta definición es particularmente rica en información, solo el conector denominado HDMI permite un transporte de la señal sin degradarla.

Es posible continuar viendo la televisión tradicional (hasta el viejo VHS), aunque las limitaciones de la definición estándar son más evidentes en los nuevos sistemas de visión HDTV.

Debido a que la tecnología es el conjunto de conocimientos técnicos, científicamente ordenados, a continuación se analizarán los estándares universales que adoptan los países para la transmisión de televisión digital terrestre, haciendo énfasis en el adoptado por Guatemala (ISDB-Tb).

3.2. Comité Ejecutivo de los Sistemas de Televisión Avanzada (ATSC)

Es una organización internacional abierta sin fines de lucro que fue creada en 1982. Tiene aproximadamente 185 miembros en varios países, en la cual

están empresas de radiodifusores, cable, satélite, computación, cine, video, electrónica de consumo, fabricantes de equipos profesionales audiovisuales y de computación e institutos de investigación, otros estándares y organizaciones comerciales. En el año 2001 fue creada una institución afiliada a Advanced Television Systems Committee (ATSC) Comité de Sistemas Avanzados de Televisión, la cual tiene como fin promover el estándar de televisión digital ATSC, principalmente en América Latina, llamado ATSC fórum. Este estándar fue creado, principalmente para la TV libre y gratuita, utilizando los mismos 6 MHz de ancho de banda que se vienen utilizando en la televisión análoga, en donde se busca brindar al usuario: HDTV, multiprogramación, comunicación interactiva y otras características.

Fue creado y adoptado por primera vez en Estados Unidos, para reemplazar el sistema de televisión análoga NTSC. Ha sido adoptado en los Estados Unidos de América, Canadá, México y Corea del Sur. Consiste en el flujo de datos en serie y es formado por paquetes MPEG de 187 bytes más un byte de sincronismo, dando lugar a una carga útil de información de 19.2895 Mbit/s. La entrada digital al sistema de transmisión de ATSC es un flujo de transporte MPEG-2, síncrono y continuo a una tasa binaria de 19,39Mbit/s. Dicha carga útil puede incluir paquetes codificados de vídeo o audio digitales o datos adicionales y llega al modulador a través de un cable coaxial de 75 Ω . Y un conector BNC de entrada y el nivel de la señal de entrada es de 0,8 V \pm 10 % pico a pico.

Los datos de sincronismo (reloj) van embutidos en la carga útil. El ancho de banda del canal de RF es de 6 MHz. La señal de salida del modulador es una señal modulada en amplitud, con vestigio de banda lateral de ocho niveles. Por lo general, la salida del modulador es a una frecuencia intermedia entre la banda base y la frecuencia de salida de RF, de 41 MHz. Dicha frecuencia

intermedia, así como el nivel de salida y otras características, dependen de la elección del fabricante. El modulador, de manera similar a los otros estándares, cumple dos funciones esenciales: primero, realizar la codificación de canal y segundo, la modulación propiamente dicha. La señal de salida del modulador pasa a un conversor ascendente que la traslada a la frecuencia del canal de RF. El codificador convolucional o canal, que forma parte del codificador de canal entrega un código picado de tasa $2/3$, ya que de cada bit alterno lo codifica en dos bits y el bit intermedio no lo codifica.

Características técnicas generales: brinda la posibilidad de transmitir señales de HDTV, la cual da 6 veces mejor calidad de imagen que la TV tradicional y mejor calidad de sonido tipo cine audio dolby digital (AC-3). Asimismo, el estándar de televisión digital ATSC permite transmitir varias señales en definición estándar o combinado con alta definición, es decir, el estándar permite multiplexar varias señales en definición estándar o en HDTV. La modulación utilizada es la 8T-VSB, la cual es una modulación monoportadora e independiente de fase, para evitar muchas distorsiones. El estándar de televisión digital ATSC tiene la velocidad de datos de 19,4 Mbps, permitiendo múltiples formatos de imágenes y velocidades de trama en HDTV y SDTV.

Codificación de video: se utiliza la codificación de video MPEG-2 (Moving Pictures Experts Group-2), por ser un conjunto de algoritmos de compresión flexible, y está conformado por un sistema de perfiles denominados perfiles, estos son los encargados de limitar la sintaxis del algoritmo, más un conjunto de niveles que se encargan de establecer los límites de velocidad de muestreo y tamaños de tramas, todo esto sumado permiten la interoperabilidad de aplicaciones y equipos.

Tabla I. **Resolución de pantalla, formatos de compresión permitidos**

	Núm. De líneas	Pixel/línea	Razón de aspecto	Frecuencias de tramas
HDTV	1 080	1920	16:9	60I, 30P, 24P
HDTV	720	1280	16:9	60P, 30P, 24P
SDTV	480	704	16:9	60P, 60P, 30P, 24P
SDTV	480	704	4:3	60P, 60P, 30P, 24P
SDTV	480	640	4:3	60P, 60P, 30P, 24P

Fuente: *Redes Multi-frecuencia (MFN) y Redes de Frecuencia Única (SFN)*.

http://cybertesis.urp.edu.pe/urp/2009/nolasco_ma/pdf/nolasco_maTH.3.pdf.

Consulta: 20 de diciembre de 2014.

El Standard ATSC determina 18 diferentes formatos de *display*, los cuales están divididos dentro de cuatro combinaciones de vertical y horizontal.

- 1920 x 1080: la industria de la televisión demanda para la representación de imágenes HDTV.
- 1280 x 720: sugerencia de la industria del PC para la representación de imágenes HDTV.
- 704 x 480: combinación que corresponde a la equivalencia digital de la señal NTSC de hoy.
- 640 x 480: estándar VGA de los monitores de PC. Los 18 formatos de display se dividen en 6 formatos para HDTV y 12 para SDTV (*Standard Definition Televisión*). Los distintos perfiles y niveles bajo la Norma de compresión MPEG-2

Tabla II. **Perfiles y niveles**

PERFILES							
	Simple	Principal	4:2:2	SNR	Espacial	Alto	
N I V E L E S	Alto	4:2:0 1920 x 1152 80 Mb/s				4:2:0 o 4:2:2 1920 x 1152 100 Mb/s	
	Alto 1440	4:2:0 1440 x 1152 60 Mb/s			4:2:0 1440 x 1152 60 Mb/s	4:2:0 o 4:2:2 1440 x 1152 80 Mb/s	
	Principal	4:2:0 720 x 576 15 Mb/s Sin B	4:2:0 720 x 576 15 Mb/s	4:2:2 720 x 608 50 Mb/s	4:2:0 720 x 576 15 Mb/s		4:2:0 o 4:2:2 720 x 576 20 Mb/s
	Bajo		4:2:0 352 x 288 4 Mb/s		4:2:0 352 x 288 4 Mb/s		

Fuente: *Redes Multi-frecuencia (MFN) y Redes de Frecuencia Única (SFN)*. http://cybertesis.urp.edu.pe/urp/2009/nolasco_ma/pdf/nolasco_ma-TH.3.pdf.

Consulta: 20 de diciembre de 2014.

El estándar ATSC utiliza la Norma de compresión de audio digital AC-3, cuyo método es el que actualmente se utiliza en las salas de cine, el *dolby surround sound*.

3.3. Radiodifusión de video digital terrestre (DVB-T)

Es una alianza con alrededor de 300 compañías de difusión, fabricantes, operadores de red, desarrolladores de software, entidades reguladoras y otras instituciones en más de 35 países, comprometido con el diseño de estándares globales para el suministro de televisión digital y servicios de datos. Los estándares DVB abarcan todos los aspectos de televisión digital, desde las transmisiones hasta las interfaces, el acceso condicional y la interactividad del video, audio y datos digitales. En septiembre de 1993, esta alianza de empresas crea el denominado grupo de lanzamiento europeo con el objetivo de lograr la estandarización global y la interoperabilidad a largo plazo para desarrollar la televisión digital, firmando el Memorando de Entendimiento

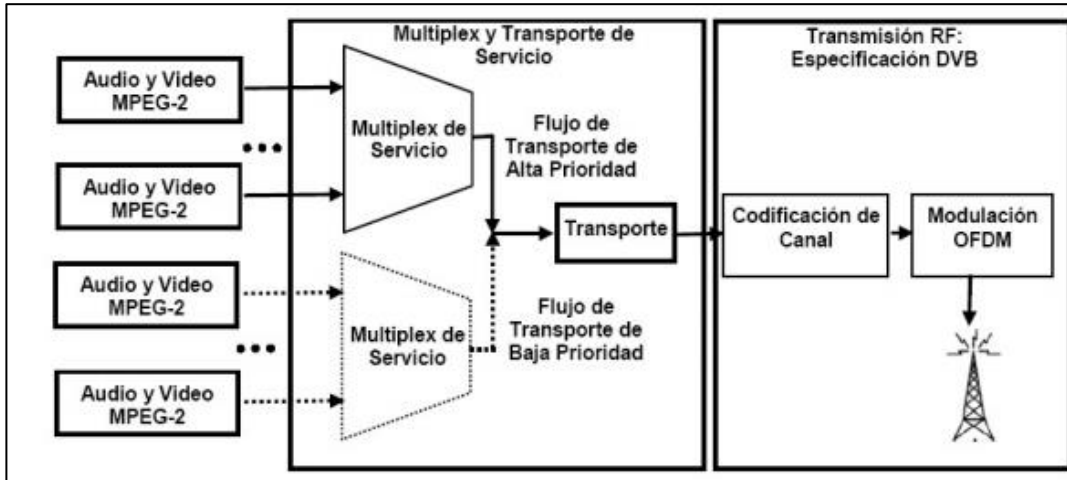
llamado MoU que establece el marco de trabajo en que se desarrollará la televisión digital. Se comenzó elaborando informes que anticipaban la situación actual, vinculando la televisión digital con nuevos conceptos (HDTV, recepción en equipos móviles, entre otros) El proyecto DVB tiene desarrollados más de 50 estándares, para televisión, para sistemas por cable, televisión terrestre, sistemas digitales de satélite, redes de microondas, y otras aplicaciones.

Características técnicas generales: dentro de los estándares DVB existentes, que más se utilizan en televisión se encuentran los siguientes:

- DVB-S estándar para sistemas digitales de satélite
- DVB-C estándar para sistemas digitales de cable
- DVB-T estándar para televisión digital terrestre

El estándar digital DVB-T, el cual interesa, está diseñado principalmente para canales de 8Mhz, pero también funciona para canales de 7 MHz y 6 MHz, en donde se utiliza la modulación tipo multiportadora, la cual puede ser modulada por QPSK o diferentes niveles de QAM. La transmisión DVB de TV digital permite un elevado bit rate: hasta 23 Mbps en 6 MHz, suficiente para transmisión de *multicasting* en SDTV o una señal de HDTV.

Figura 19. Diagrama general del sistema DVB-T



Fuente: *Redes Multi-frecuencia (MFN) y Redes de Frecuencia Única (SFN)*.

http://cybertesis.urp.edu.pe/urp/2009/nolasco_ma/pdf/nolasco_ma-TH.3.pdf.

Consulta: 22 de diciembre de 2014.

Características de video: la compresión de video la realiza en MPEG-2, utilizando un muestreo de 4:2:0, con 8 bits de resolución y utilizando los tres tipos de *frames* I, P, B. Los formatos compatibles son:

- *Low definition television (LDTV) 288P*
- *Standard definition television (SDTV) 576i*
- *Enhanced definition television (EDTV) 576P*
- *High definition television (HDTV) 720P*
- *High definition television (HDTV) 1080i*

Características de audio: la compresión del audio está dada en MPEG Layer II (*Musica*), el cual consiste básicamente en enmascarar un elemento de sonido sobre otro cercano de bajo nivel, descartando así los elementos de sonido que no serían escuchados aun estando presentes. Maneja audio mono,

estéreo, multilinguaje o *surround*. Maneja bits de rates desde 32 a 384 Mbps, posteriormente fue incorporado el sonido dolby AC-3, debido a la popularidad de este. Modulación COFDM: utiliza la modulación COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing), sistema basado en portadoras que llevan información y todas son ortogonales entre sí, porque cuando pasa una portadora por un máximo, la segunda pasa por un cero. Todo esto se crea usando la anti-transformada rápida de Fourier, FFT-1 y es demodulada usando su inversa FFT. Existen dos modos: N=2K o N=8K. Se tiene que 2K equivalen a 1 705 portadoras, las cuales son adaptadas para redes multifrecuencias (MFN).

Lo mismo que 8K es igual a 6 817 portadoras, que son adoptadas para redes de frecuencia única (SFN). El estándar DVB-T permite configurar el sistema con varios intervalos (1/32, 1/16, 1/8, 1/4) con varias modulaciones de portadoras (QPSK, 16QAM, 64QAM), con una corrección de errores convolucional (FEC) (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8) y *Reed Salomon*, así como pilotos TPS que permiten al receptor reconocer el modo de funcionamiento. El estándar DVB, permite una planificación tanto en SFN como en MFN, en donde el principio para SFN es lograr un sincronismo entre las estaciones, con base en unas frecuencias idénticas de las portadoras de radiofrecuencia, frecuencias de muestreo idénticas entre los moduladores COFDM, y flujos de datos idénticos, logrando así un ahorro espectral significativo, y las MFN facilitan la regionalización de servicios de televisión. Para facilitar las diferentes tipologías de red, el estándar DVB-T especificó 4 posibles intervalos de guarda del periodo de símbolo útil, cuyo fin es determinar las máximas distancias entre transmisores en redes SFN.

Tabla III. Velocidades de información con diferentes modulaciones

Modulación	FEC	BW = 6 MHz				BW = 7 MHz				BW = 8 MHz			
		1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	3,73	4,14	4,39	4,52	4,35	4,64	5,12	5,28	4,98	5,53	5,85	6,03
	2/3	4,97	5,52	5,85	6,03	5,81	6,45	6,83	7,04	6,64	7,37	7,81	8,04
	3/4	5,59	6,22	6,58	6,78	6,53	7,26	7,68	7,92	7,46	8,29	8,78	9,05
	5/6	6,22	6,91	7,31	7,54	7,28	8,06	8,54	8,80	8,29	9,22	9,76	10,05
	7/8	6,53	7,25	7,68	7,91	7,62	8,47	8,97	9,24	8,71	9,68	10,25	10,56
16-QAM	1/2	7,46	8,29	8,78	9,04	8,71	9,68	10,25	10,56	9,95	11,06	11,71	12,06
	2/3	9,95	11,05	11,70	12,06	11,61	12,902	13,661	14,07	13,27	14,75	15,61	16,09
	3/4	11,19	12,44	13,17	13,57	13,06	14,51	15,37	15,83	14,93	16,59	17,56	18,10
	5/6	12,44	13,82	14,63	15,06	14,52	16,13	17,08	17,59	16,59	18,43	19,52	20,11
	7/8	13,68	14,91	15,36	15,83	15,240	16,834	17,83	18,47	17,42	19,35	20,49	21,11
64-QAM	1/2	11,19	12,44	13,17	13,57	13,06	14,515	15,37	15,834	14,93	16,59	17,56	18,10
	2/3	14,92	16,58	17,56	18,09	17,42	19,353	20,49	21,11	19,91	22,12	23,42	24,13
	3/4	16,79	18,66	19,76	20,35	19,60	21,772	23,05	23,75	22,39	24,88	26,35	27,14
	5/6	18,66	20,73	21,95	22,62	21,77	24,191	25,61	26,39	24,88	27,65	29,27	30,16
	7/8	19,59	21,77	23,05	23,75	22,86	25,40	26,90	27,71	26,13	29,03	30,74	31,6

Fuente: *Redes Multi-frecuencia (MFN) y Redes de Frecuencia Única (SFN)*.
http://cybertesis.urp.edu.pe/urp/2009/nolasco_ma/pdf/nolasco_ma-TH.3.pdf.

Consulta: 22 de diciembre de 2014.

Tabla IV. Distancia máxima entre transmisores en redes SFN

	8K		2K	
	Tg	L máxima	Tg	L máxima
1/32	28µs	8,4 Km	7µs	2,1 Km
1/16	56µs	16,8 Km	14µs	4,2 Km
1/8	112µs	33,6 Km	28µs	8,4 Km
1/4	224µs	67,2 Km	56µs	16,8 Km

Fuente: *Redes Multi-frecuencia (MFN) y Redes de Frecuencia Única (SFN)*
http://cybertesis.urp.edu.pe/urp/2009/nolasco_ma/pdf/nolasco_ma-TH.3.pdf.

Consulta: 22 de diciembre de 2014.

Existen variantes de DVB orientadas al medio de transmisión, según el medio de comunicación, se tiene:

- Satélite: DVB-S, DVB-S2, DVB-SH y DVB-SMATV.
- TV terrenal para dispositivos móviles: DVB-H.
- TV terrenal: DVB-T y DVB-T2.
- Cable: DVB-C.
- Microondas: DVB-MT usa DTTDVB-MC (usa MMDS), DVB-MS (usa MVDS).

DVB-T, al igual que ATSC, utiliza técnicas de compresión de datos en MPEG-2. Sin embargo, desde el 2004, se permiten implementaciones en MPEG-4. En cuanto al video, se puede realizar en escaneo progresivo o entrelazado con una relación de aspecto variable de 4:3 o de 16:9. El sonido puede ser AC-3 (dolby) o AAC (MPEG) y permite hasta 5,1 canales independientes. Todos los estándares DVB soportan servicios de texto y subtítulo en todos sus flujos de datos. Después de la codificación, la información se multiplexa en un solo flujo de datos. Se aplican procesos de detección y corrección de errores como la codificación *Reed-Solomon*.

La técnica de modulación empleada para DVB-T es la COFDM que, utiliza múltiples subportadoras para transmitir la señal. Esta técnica permite emplear dos modos según el ambiente de recepción del entorno, el modo 2K y el modo 8K. En áreas poco conflictivas, menos de dos mil portadoras son suficientes para obtener la señal y se usa el modo 2K. Los ambientes hostiles, como regiones montañosas o ciudades con altos edificios, requieren cerca de ocho mil portadoras, por lo que se usa el modo 8K, que a su vez permite un mayor área de cobertura que el 2K. Además, las subportadoras son a la vez moduladas utilizando QPSK o 16-QAM o 64-QAM, de acuerdo a la tasa de

datos final deseada (5 Mbit/s hasta aproximadamente 32 Mbit/s). DVB-S permite emplear QPSK o 16-QAM, mientras que su segunda versión, DVB-S2 permite además de las anteriores, nuevas técnicas como 16APSK o 2APSK. DVB-C puede usar 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM o 256-QAM a decisión de la compañía. DVB posee un sistema de acceso condicional y algoritmos de encriptación. Estos códigos pueden ser asignados a cualquier programación, según voluntad de la televisora. Además, se está desarrollando un sistema de protección de contenido contra copias, que ofrezca uso flexible en aplicaciones domésticas, pero restringe su distribución por internet. DVB implementa formatos que permiten la transmisión de datos con múltiples opciones de canales de retorno como teléfonos celulares, satélites y módem. De hecho, en la reglamentación ETSI EN 301958, se especifican las características para un canal de retorno terrenal. Las Normas ETSI EN 300 468 y ETSI TR 101 211 permiten la creación de guías EPG que habilitan la búsqueda automática y bloqueo de contenido. Recientemente se ha comenzado en la elaboración de estándares para IPTV. Es así como se tienen las Normas ETSI TR 102033, ETSI TS 102034 y ETSI TS 102814, que también incluyen definiciones para guías de contenido a través de banda ancha.

3.4. Norma de radiodifusión digital (DMB-T/H)

También conocido como DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcast) es el estándar que se usa en la República Popular de China (RPC), incluido Hong Kong y es oficial desde el 1 de agosto de 2007. Este estándar, obligatorio en la RPC, cubrirá tanto a dispositivos fijos como móviles y la transición a emisiones completamente digitales deberá estar finalizada para el 2015. Fue desarrollado en conjunto en la Universidad Tsinghua de Beijing y la Universidad Jiaotong de Shanghai. Es el estándar chino que cubre tanto la TV móvil como la televisión tradicional y la televisión de alta definición.

Este estándar está basado en las características de HDTV y ha sido principalmente diseñado para la transmisión en móviles, donde es capaz de recibir la señal de TDT a una velocidad de 200 km y alcanzar un radio de difusión hasta de 100 km; sin embargo, dadas sus características tendientes a la parte móvil, es poco flexible, las características DMB T/H son:

- Tiene un costo de implementación bajo
- Millones de adeptos: China es el país más poblado del mundo

Las transmisiones usan un esquema de modulación llamado TDS-OFDM (Time Domain Synchronous -OFDM) en un canal con un ancho de 8 MHz. Se puede decir que la técnica es capaz de soportar un esquema de modulación con una sola portadora como el tradicional con múltiples. Sus desarrolladores afirman que así es posible recibir la señal DTMB en un automóvil desplazándose a una velocidad de 200 km/h.

Una de las críticas hechas al sistema es que no define estándares de codificación de video. Esto, aunque da más flexibilidad a los proveedores, no unifica y los equipos tendrían que diseñarse capaces de decodificar múltiples tipos de video. A su vez, esto ha hecho que el costo de fabricación y diseño de los circuitos receptores haya sido elevado. Para demostrar la factibilidad de su sistema, el gobierno de la República Popular de China anunció que todos los contenidos de las Olimpiadas de Beijing 2008 serían transmitidos en alta definición (1080i o 720p) y sonido dolby digital 5,1 usando el estándar DTMB.

Tipos de regulación de TDT: cada uno de los países que han adoptado un estándar de televisión digital, han elaborado estudios y pruebas de comportamiento, actualizando la reglamentación y diseñando un periodo de transición, creando el concepto de apagón analógico. Teniendo proyectado un

periodo de transición (donde convivirán el sistema analógico y digital). Actualmente, ya han sido implementados por diferentes países, ellos: Brasil, México y Uruguay en Latinoamérica y, por supuesto los países creadores de estos estándares como Japón, Estados Unidos, China y países de Europa. La regulación dentro de estos países se está definiendo de acuerdo a características propias de cada país, sin embargo, los creadores de estos estándares han determinado los factores que deben tenerse en cuenta.

Al poner en cuestión las premisas básicas sobre las que se ha fundado el esquema de regulación analógico (limitada capacidad de transmisión, servicios unidireccionales, terminales brutas y una clara demarcación entre los servicios de radiodifusión y los de telecomunicaciones), la tv digital abre una serie de interrogantes sobre cómo adecuar la reglamentación del sector a los nuevos parámetros político-económico de la industria de radiodifusión.

Tabla V. **Establecimiento de la TV digital en EUA y Europa**

Factores Regulatorios	ESTADOS UNIDOS	EUROPA
Coordinación	Librada al mercado, excepto calendario de lanzamiento.	Patrón europeo, gobierno promueve activamente transición.
Costos	Alto costo receptores para usuarios. (Regulación por precios techo)	Costo receptores subsidiado por operadores/gobierno.
Licencias	Radiodifusores analógico reciben canal adicional.	Licitación para nuevos operadores de múltiplex terrestres. (¿Concesión o contratos?)
Modelo de Regulación	Continuidad modelo TV analógica.	Separación de infraestructura y contenido con base en legislación telecomunicaciones.



Fuente: *Spectrum Analysis*, 2007. <http://chiletelevisiondigital.com/informe-de-estudio-del-marco-regulatorio-para-la-television-digital>. Consulta 4 de enero de 2015.

El *digital video broadcasting-Handheld* es desarrollado por DVB, es una organización encargado de crear y proponer los procedimientos de estandarización para la televisión digital. Está constituido por más de 270 instituciones y empresas de todo el mundo. Y los procedimientos de codificación usados en DVB se basan en estándares MPEG.

3.5. Norma de televisión digital originada en Japón (ISDB-T)

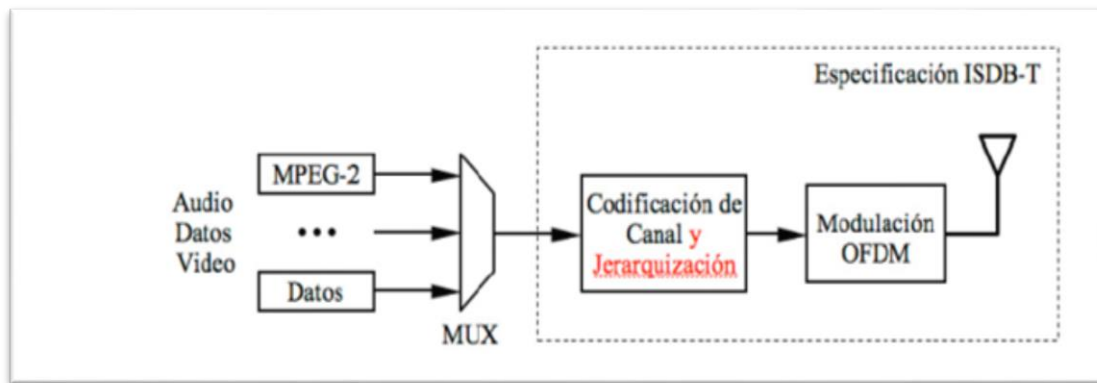
El estándar ISDB-T (*“Integrated Service Digital Broadcasting – Terrestrial”* Transmisión digital de servicios integrados – terrestre) ha sido desarrollado y está operando en Japón. Brasil adoptó este estándar realizando algunas modificaciones, creando así su propio estándar (SBTV-D).

El ISDB-T es promovido por el DiBEG (Digital Broadcasting Experts Group) de Japón, grupo de expertos conformado por las principales transmisoras y fabricantes que trabajan en el medio de la radiodifusión, fundado en septiembre de 1997, para promover el sistema de televisión digital ISDB-T por todo el mundo.

El desarrollo de ISDB comenzó en 1980, pero el estándar fue creado en los años 90. El estándar ISDB comprende la transmisión de video digital por satélite (ISDB-S), por cable (ISDB-C) y terrestre (ISDB-T, incluye terminales móviles). ISDB fue diseñado en torno al estándar de codificación de audio y video MPEG-2 (Norma ISO/IEC 13812) y contiene especificaciones para transmisión de televisión de resolución estándar en modo multiplexado y de alta definición (HDTV). El servicio DTTB comenzó en Japón desde diciembre del 2003 y se ha podido migrar rápidamente al servicio DTTB, debido a sus ventajas y nuevos servicios, como el llamado *“One-Seg”*, que es el servicio de

recepción portátil en el mismo canal de transmisión, el cual comenzó en abril del 2006.

Figura 20. Diagrama general del sistema ISDB-T



Fuente: *Cybertesis*. http://cybertesis.urp.edu.pe/urp/2009/nolasco_ma/pdf/nolasco_ma-TH.3.pdf.

Consulta: 27 de enero de 2015.

Algunas de las características más relevantes del estándar ISDB-T son las siguientes: multimedia, alta calidad/multicanal, alta performance, servicio de recepción móvil y portátil, simplicidad (receptor integrado), utilización efectiva del espectro.

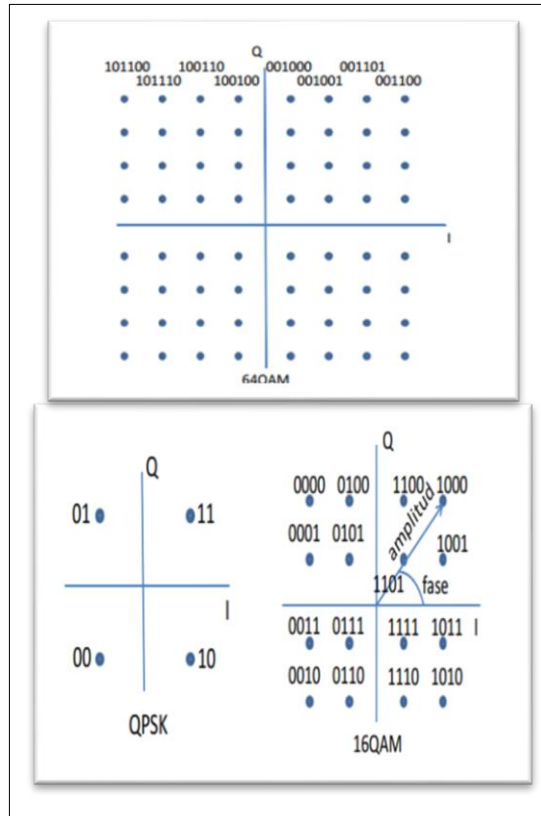
3.5.1. Transmisión de codificación del canal

Objetivos de la transmisión digital de la información: codificación de canal, transmisión fiable (control de errores), transmisión rápida (compresión), transmisión segura (autenticidad, privacidad), codificación de canal, de fuente criptografía. Proteger la información frente a degradaciones del canal.

frecuencia como parámetro de modulación (como se hacía en FM) sino la amplitud y la fase.

El sistema ISDB-T incluye tres técnicas de modulación: QPSK (Quadrature phase Shift Keying), 16 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) y 64 QAM. El sistema QPSK permite transmitir dos bits de información en cada símbolo usando solo la fase como parámetro de la señal sinusoidal. Al ser dos bits solo existen cuatro combinaciones posibles que corresponden a los 4 símbolos que se transmiten en QPSK: la combinación (0,0) corresponde a una fase de 45 grados, (1,0) a 135 grados, (1,1) a 225 grados y (1,0) a 315 grados. Este desfase en grados representa en realidad un desfase temporal en donde 360 grados corresponden al período de la señal, vale decir, cuánto demora un ciclo de la señal. En el sistema 16QAM no se modula solo la fase, sino también la amplitud de la señal sinusoidal. El sistema 16QAM consta de 16 símbolos donde cada símbolo representa 4 bits de información. El caso de 64QAM es similar al de 16QAM solo que este consiste de 64 símbolos donde cada uno representa 6 bits de información. Debido a problemas de espacio en el caso de 64QAM solo se han incluido los valores numéricos de 6 bits en la línea superior de la figura.

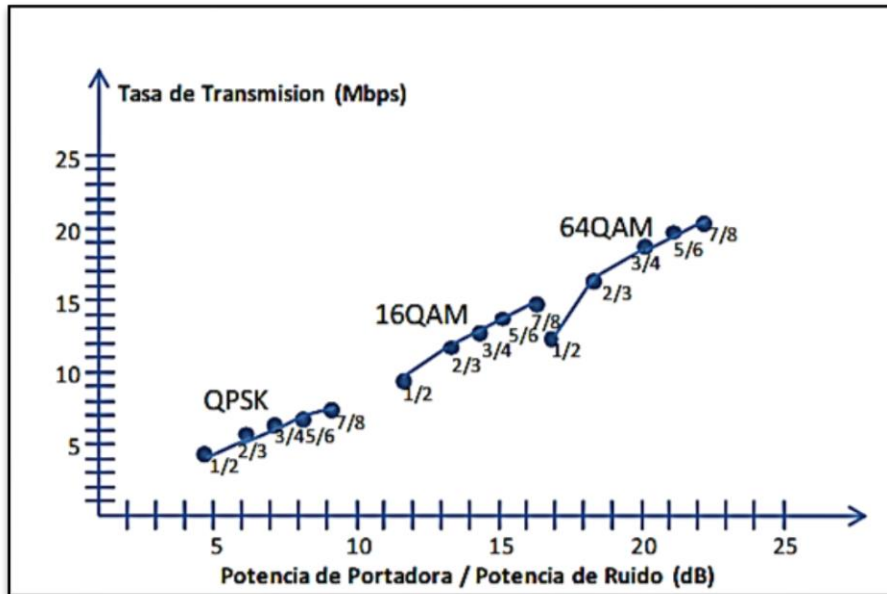
Figura 22. **Modulaciones QPSK, 16QAM y 64QAM**



Fuente: *Televisión digital al alcance de todos una introducción simple al estándar japonés ISDB-T y a las telecomunicaciones modernas*. Consulta: 7 de enero de 2015.

Si fuera posible se usaría siempre la modulación 64 QAM, ya que nos permite enviar 3 y 1,5 veces más información que QPSK y 16QAM, por símbolo transmitido, respectivamente. Sin embargo, la mejor modulación dependerá finalmente de cuánto sea el nivel de potencia con que se puede recibir la señal por sobre la potencia de ruido e interferencia.

Figura 23. Tasa en función de la razón de potencia de portadora a ruido



Fuente: *Televisión digital al alcance de todos una introducción simple al estándar japonés ISDB-T y a las telecomunicaciones modernas*. Consulta: 8 de enero de 2015.

La figura 23 muestra la tasa de transmisión que puede alcanzarse en función de la potencia o calidad de recepción en cualquiera de estos 3 sistemas de modulación. Existe un balance o *trade-off* entre la potencia de recepción de la señal y la tasa de transferencia de datos. Si la potencia de recepción es baja (menos de 10 decibeles por sobre la potencia de ruido e interferencia), conviene transmitir solo 2 bits por símbolo usando QPSK, ya que esta modulación es más robusta frente al ruido y la interferencia. Si la potencia de recepción sobre interferencia y ruido es de un nivel medio (entre 10 y 18 dB), el sistema debería utilizar 16QAM y transmitir 4 bits por símbolo. Si la potencia de recepción es buena (más de 18 dB por sobre el ruido e interferencia), conviene aumentar la tasa de transferencia de información a 6 bits por símbolo utilizando la modulación 64QAM. La potencia de la señal en decibeles por sobre la de ruido

e interferencia denominada SNIR, por sus siglas en inglés (Signal to Noise and Interference Ratio) se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$SNIR_{db} = 10 \log \left(\frac{\text{Potencia Señal}}{\text{Potencia Ruido} + \text{Potencia Interferencia}} \right)$$

Es así como en Japón se decidió utilizar en todo el territorio nacional la modulación de 64QAM, con la tasa de codificación convolucional para corrección de errores de 3/4 donde por cada tres bits de información se agrega un cuarto con información redundante para corregir posibles errores en la transmisión. Aun cuando la modulación de menor grado utilizada en ISDB-T es QPSK, existe una modulación aún más resistente al ruido y la interferencia llamada BPSK (*binary phase shift keying*). En la modulación BPSK cada símbolo representa un solo bit de información (0 o 1).

Las modulaciones BPSK, QPSK y 16QAM son ampliamente utilizadas en el área de telefonía móvil y en redes Wi-Fi donde, incluso se realiza adaptación automática de la modulación de acuerdo a la potencia de recepción. Esta técnica es conocida como *Adaptive Modulation*. Existen varios esquemas de modulación de bits o símbolos de información. Los sistemas más utilizados son el BPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM que permiten incluir en un solo símbolo transmitido 1, 2, 4 y 6 bits, respectivamente. Transmitir una mayor cantidad de bits por símbolo es siempre lo mejor, ya que significa una utilización más eficiente del espectro radioeléctrico, sin embargo, la “regla de oro” es que entre más bits se ponen dentro de un solo símbolo, mayor es la probabilidad de que se produzcan errores durante la transmisión. Esto es debido a que ante una misma potencia de transmisión la “distancia” entre símbolos disminuye a medida que se aumenta la cantidad de bits por símbolo. Esto queda más claro comparando los mapas de símbolos de QPSK y 64QAM. Idealmente la

modulación debiera cambiar en forma adaptiva en cada receptor dependiendo de su potencia de recepción. Si el receptor está cerca de la antena transmisora podría perfectamente recibir símbolos enviados con 64QAM, mientras que otro receptor lejos de la antena podría recibir datos enviados con modulación QPSK. Esto se hace en el caso de las redes de transmisión unicast (punto a punto) como wi-fi con un esquema llamado “modulación adaptiva”. Sin embargo, no es posible hacerlo en caso de un sistema de radiodifusión (punto a multipunto) como ISDB-T donde un solo transmisor transmite a miles o millones de receptores a la vez. En el caso del estándar de TV digital de Japón, lo que se ha hecho es fijar el sistema de modulación 64QAM para todo el territorio nacional y colocar antenas o repetidoras en los sitios donde se requiera luego de hacer estudios de cobertura en todas las regiones del país.

3.5.1.1. Codificación de corrección de error

Las transmisiones sobre un canal inalámbrico están sometidas a interferencia y ruido. A medida que la potencia de la interferencia y del ruido con respecto a la de la señal que se desea recibir se incrementa, aumentan también los errores en la transmisión, los que se manifiestan en forma de símbolos, que son decodificados erróneamente en el receptor o que simplemente no pueden decodificarse. Para hacer frente a este problema existen técnicas de corrección de errores que en ISDB-T pueden dividirse en dos grandes grupos: códigos de bloque y códigos convolucionales. Ambas técnicas son ampliamente utilizadas en prácticamente todos los sistemas modernos de transmisión digital inalámbrica: Wi-Fi, WiMax, telefonía móvil (2G y 3G), comunicaciones satelitales, entre otros

La televisión digital tampoco escapa a los errores que se producen en el canal y se obliga a hacer lo que se pueda para detectarlos y/o corregirlos. El

sistema de corrección de errores de los tres grandes estándares de televisión digital (ATSC, DVB y ISDB-T) utiliza una clase de códigos de bloque llamados códigos *Reed-Solomon*, inventados en 1960 en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), por los científicos Irvin Reed y Gustave Solomon. Estos han sido utilizados ampliamente durante casi tres décadas, no tan solo en sistemas de comunicaciones, sino también para la protección de la información almacenada en CDs, DVDs, discos BlueRay y en sistemas de almacenamiento de nivel empresarial basados en la tecnología *raid*. Los códigos *Reed-Solomon* agregan bits redundantes o de paridad a los bits de información que desea transmitir.

En el caso del sistema japonés de televisión digital, en cada paquete de información se envían 188 bytes (1 byte = 8 bits) de información y se agregan 16 bytes de paridad formando así un paquete de información de tamaño constante de 204 bytes. El paquete de información de 188 bytes de tamaño fijo proviene del formato contenedor de video, audio y datos que se utiliza en ISDB-T: el MPEG2-TS o TS. Los 16 bytes de paridad son calculados con base a los 188 bytes de información original usando el álgebra de campos finitos (o de *galois*), inventada por el brillante matemático francés Evaristo Galois. Los códigos Reed-Solomon en general se describen con la dupla (N, K) siendo N el número total de símbolos enviados y K el número de símbolos de información. El máximo número de símbolos con errores que pueden ser corregidos es $(N-K)/2$ y el máximo número de símbolos que pueden ser completamente recuperados si se sabe su posición dentro de la secuencia de transmisión es (N-K). En el caso de ISDB-T se utilizan códigos Reed-Solomon (204,188), por lo tanto en un paquete con 204 bytes se puede corregir hasta 8 bytes erróneos y recuperar 16 bytes, si se sabe la posición de los errores.

Los códigos *Reed-Solomon* tienen un excelente desempeño en canales de comunicación donde se producen errores en forma de ráfaga (muchos errores producidos en forma consecutiva), un problema típico que aqueja a los canales inalámbricos, especialmente cuando el transmisor o receptor se hayan en movimiento. Otro mecanismo de corrección de errores que se utiliza en el sistema ISDB-T es basado en los códigos convolucionales. Este es una secuencia de m bits de información, transformada en una secuencia de n bits donde n es mucho mayor que m y la proporción n/m es llamada la tasa del código. La transformación es función de los últimos k bits de información, siendo k la longitud del código. Se dice, por lo tanto, que k equivale a la memoria del código.

En el sistema ISDB-T se puede optar por una tasa de código de $1/2$, $2/3$, $3/4$, $5/6$ o $7/8$. En el caso de una tasa de código de $3/4$ por cada 3 bits de información se transmiten 4 bits codificados. En el lado del receptor se utiliza un algoritmo conocido como decodificación de Viterbi, inventado en 1967, por el genial Andrew Viterbi, científico (y más tarde empresario), italiano nacionalizado estadounidense. El algoritmo de decodificación de Viterbi se utiliza en comunicaciones militares, satelitales y espaciales e incluso en muchos de los teléfonos celulares. Consiste básicamente en alinear a los bits recibidos (incluidos los bits erróneos) y extraer la secuencia de bits transmitida más probable con base en un seguimiento de los estados (los que dependen de los bits de información anteriores) en el decodificador.

En el lado del receptor el código convolucional es utilizado antes que el código *Reed Solomon* para decodificar la información. Los errores que no pueden ser corregidos por el decodificador de Viterbi pasan en una etapa siguiente al decodificador de *Reed Solomon* donde idealmente serán corregidos. Los códigos de corrección de errores forman parte de una de las

áreas de las telecomunicaciones donde el uso de las matemáticas duras y la invención de algoritmos de procesamiento más potentes confluyen en un solo propósito: reparar el mayor número de errores posible de la forma más rápida y eficiente. Existe un límite teórico que dicta el mejor desempeño que un sistema de comunicaciones puede alcanzar. Se trata del límite teórico de Shannon para muchos el padre de lo que hoy se conoce en el área de informática y telecomunicaciones como teoría de la información. El límite de capacidad del canal de Shannon muestra en forma matemática la máxima tasa de transmisión que puede alcanzarse en un canal de comunicaciones dadas la potencia de la señal recibida y la potencia del ruido en el canal. El límite de capacidad del canal de Shannon se muestra en la siguiente expresión:

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

En la fórmula de arriba C es la capacidad del canal en bits por segundo, B es el ancho de banda del canal (en Hertz), S es la potencia de la señal recibida en Watt o mili Watt, y N es la potencia de ruido recibido en la misma unidad que S(Watt o mili Watt). A medida que se reduce el ruido la capacidad del canal aumenta logarítmicamente con la potencia de la señal recibida. En el caso extremo en que la potencia de ruido es nula (cosa que nunca ocurre en la realidad), la capacidad del canal es infinita sin importar el ancho de banda disponible del canal ni la potencia de recepción de la señal útil. El límite de Shannon considera un canal con ruido gaussiano o blanco que posee una potencia espectral constante en todo el dominio de la frecuencia. Este tipo de ruido es un caso idealizado de la interferencia que, no considera los fenómenos de desvanecimiento que se producen en un canal inalámbrico real.

Los códigos que se han acercado más al límite de Shannon son los de turbo y los LDPC (*low density parity check*). Los primeros fueron inventados en

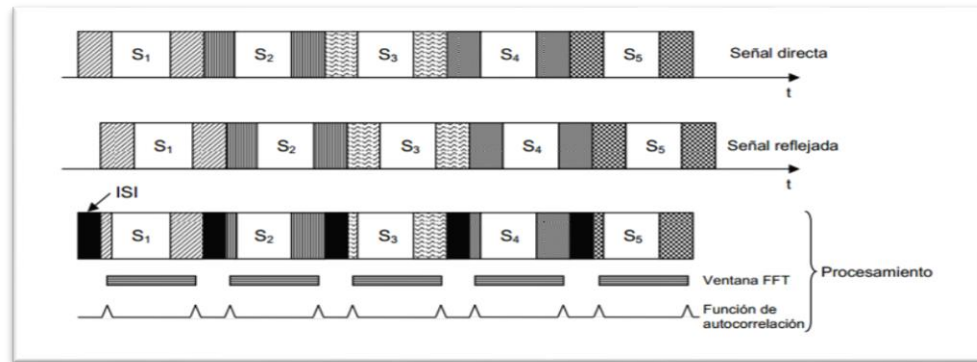
1993, por el ingeniero electrónico francés Claude Berrou y son utilizados ampliamente en sistemas de telefonía móvil. Su funcionamiento se basa en sistemas de códigos convolucionales que trabajan en forma paralela e independiente.

Los segundos funcionan con base en matrices binarias dispersas y presentan un desempeño excelente que supera en muchos escenarios a los códigos turbo, y es por esto que forman parte cada vez más de estándares de radiocomunicaciones. Fueron inventados en 1962, por Robert Gallager en el MIT (Massachusetts Institute of Technology), en el marco de su trabajo doctoral. Por lo mismo, muchas veces son llamados códigos de Gallager. La investigación doctoral de Gallager pasó décadas sin que nadie la notara hasta hace aproximadamente una década, cuando se encontró que este tipo de códigos podía proveer de un desempeño excelente en la corrección de errores.

3.5.1.2. Intervalo de protección

También llamado intervalo de guarda, la porción de tiempo asignada al intervalo de guarda es ocupada por la parte final del símbolo que se transmite a continuación. Si se acaba de enviar el símbolo S_n , a continuación, y por un espacio de tiempo igual a T_G , se transmite la parte final del símbolo S_{n+1} y luego el símbolo S_{n+1} propiamente dicho.

Figura 24. **Posicionamiento de la ventana FFT mediante la autocorrelación**



Fuente: PISCIOTTA, Néstor Oscar. https://www2.elo.utfsm.cl/~elo341/SistemaISDB_Tb.pdf.

Consulta: 8 de enero de 2015.

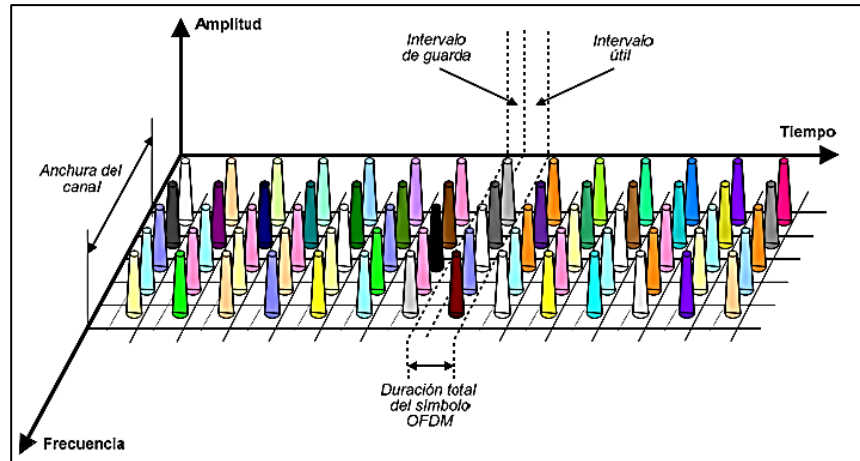
En la figura 24 se muestra una señal directa y la réplica retardada de la misma, donde se pueden apreciar los intervalos de guarda correspondientes a varios símbolos consecutivos, cada uno con distintos sombreados, para poder identificar fácilmente la parte final de cada uno de ellos.

La razón de ser de este mecanismo se debe a la forma en que trabaja el receptor, concretamente a la manera en que se realiza la detección de cada símbolo. Si no existiera señal durante el intervalo de guarda, una vez transcurrido el tiempo del ISI, el receptor debiera poder comenzar la captura del símbolo en el momento exacto, recuperando toda la información transportada, acción que no resulta posible en presencia de múltiples señales, ya que sería muy dificultoso poder detectar el comienzo y el final de cada símbolo. Entonces, si la parte final del símbolo S_{n+1} se repite en el intervalo de guarda que lo precede, todos los componentes de la señal que están presentes más de una vez dentro del periodo de tiempo libre de la ISI podrán ser detectados fácilmente, por medio de la función de autocorrelación del receptor.

La función de autocorrelación hace posible encontrar el comienzo y el final de la zona que está libre de ISI dentro de cada símbolo, permitiendo que el receptor posicione la ventana de muestreo de la transformada rápida de Fourier (FFT) dentro del sector libre de disturbios. La ventana de FFT tiene longitud exactamente igual a un símbolo y debido al efecto de búsqueda de la zona libre de ISI, en general esta ventana no quedará perfectamente alineada con el símbolo que se está detectando, provocando un error de fase que se traduce en una rotación del diagrama de constelación con el que han sido moduladas las portadoras. Este error se corrige fácilmente en las siguientes etapas de procesamiento de la señal.

El problema que resta por resolver es el de la interferencia entre símbolos (ISI). Los receptores no solo reciben la señal directa; también llegan a la antena, con un cierto tiempo de retardo, réplicas de la señal original o ecos. Por lo que la parte inicial de cada nuevo símbolo OFDM transmitido, corre serios riesgos de ser degradada por el final del símbolo que le antecede. Para evitar este efecto se inserta un intervalo de guarda al comienzo de cada símbolo OFDM.

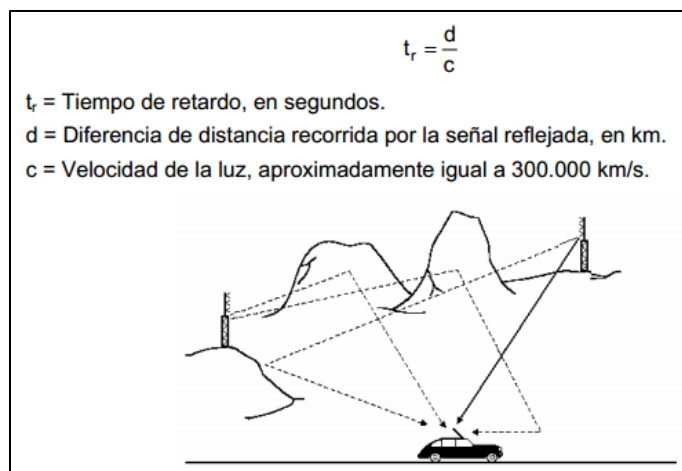
Figura 25. Inserción del intervalo de guarda



Fuente: FARIA, Gerard. *Single Frequency Networks, a magic feature of the COFDM. Technical Director of IT IS – France, 2000.* Consulta: 10 de enero de 2015.

Este periodo de tiempo constituye una mezcla entre el símbolo actual (señal directa) y las réplicas retardadas del símbolo OFDM previo.

Figura 26. Señal directa y reflejada

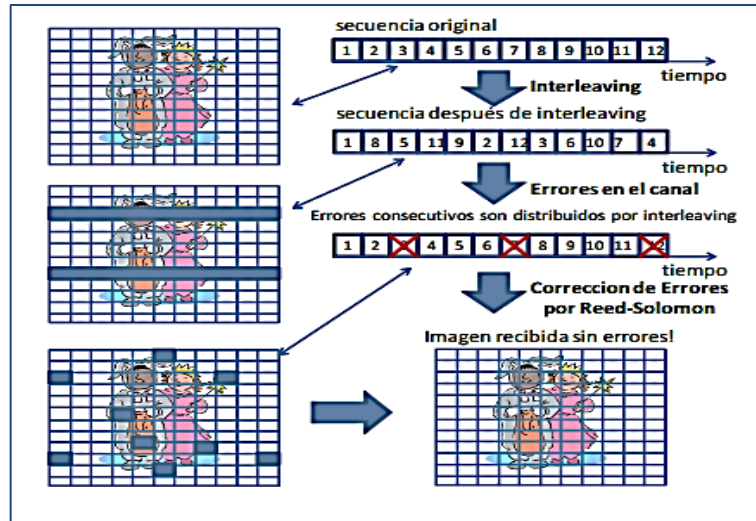


Fuente: FARIA, Gerard. *Single Frequency Networks, a magic feature of the COFDM., Technical Director of IT IS – France, 2000.* Consulta: 10 de enero de 2015.

Para eliminar la interferencia entre símbolos (ISI) será suficiente con introducir un intervalo de guarda al comienzo de cada símbolo, cuya duración T_G sea mayor o igual al tiempo de retardo t_r . Además puede verse sin ninguna dificultad que la adición del intervalo de guarda resulta clave para posibilitar el correcto funcionamiento de las redes de frecuencia única (SFN). La técnica de entrelazado de datos se basa en un principio básico de telecomunicaciones: tratar de corregir errores distribuidos es mucho más fácil que corregir los producidos en forma consecutiva o en ráfaga. Esto está directamente relacionado con el límite de capacidad de Shannon, ya que una distribución más homogénea de los errores en el tiempo y la frecuencia hace que el canal se asimile a uno de ruido blanco o "gaussiano", el canal idealizado para modelar el ruido y la interferencia. El comportamiento de los canales inalámbricos dista mucho de este canal idealizado, especialmente cuando existe movimiento relativo entre el transmisor y el receptor o cuando hay fenómenos de sombra u ocultamiento del receptor, por causa de un objeto mucho mayor como un cerro o una torre.

El objetivo de este método es ayudar tanto al código Reed-Solomon como al código convolucional a hacer bien su trabajo de corregir los errores producidos durante la transmisión. La técnica de Interleaving consiste en simplemente reordenar o alterar el orden de los símbolos de información transmitidos en el dominio del tiempo o la frecuencia. La razón del porqué el Interleaving temporal puede ayudar a decodificar correctamente la información transmitida en el lado receptor puede apreciarse gráficamente en la figura 27.

Figura 27. Interleaving en el dominio del tiempo



Fuente: *Televisión digital al alcance de todos una introducción simple al estándar japonés ISDB-T y a las telecomunicaciones modernas*. Consulta: 11 de enero de 2015.

Interleaving en la frecuencia: esta técnica, también puede ser utilizada en el dominio de la frecuencia.

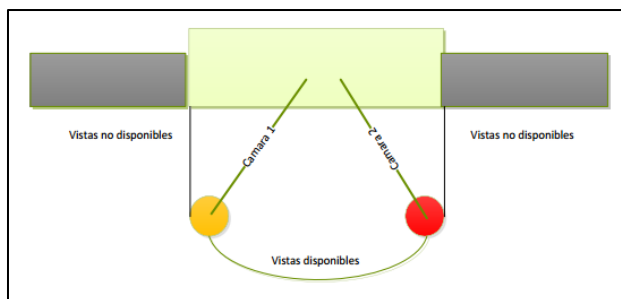
Debido a los problemas de trayectorias múltiples y de desvanecimiento producidos en el canal inalámbrico, la ganancia en algunos canales de frecuencia puede caer muchísimo por momentos, ocasionando una ráfaga de errores en todos los símbolos transmitidos en esa banda de frecuencia y durante ese lapso de tiempo.

Si se reordenan los paquetes de información de manera de redistribuirlos en el dominio de la frecuencia, se puede proveer una mayor resistencia a esta clase de errores. En ISDB-T, esta técnica se utiliza dentro de cada uno de los 13 segmentos de datos.

3.5.1.3. Interpolación

Da una vista estima directamente, la apariencia de la escena desde los puntos de vista originales, sin una reconstrucción explícita de estructura de una escena 3D como un paso intermedio. Esto evita el tener la reconstrucción 3D como tal. Pero se limita la representación solo a las vistas que estén entre las cámaras.

Figura 28. **Vistas disponibles en la interpolación**



Fuente: *Televisión digital al alcance de todos una introducción simple al estándar japonés ISDB-T y a las telecomunicaciones modernas*. Consulta: 12 de enero de 2015.

En la interpolación se tiene la gran ventaja de reducir errores en la calibración, por lo que las fallas en la reconstrucción, también disminuyen. La calidad de la representación de las vistas depende del alineamiento que se aplica a los lentes para captar la escena. Este método no es el único para obtener esta información, debido a que también se puede extraer esta información de profundidad a través de la adquisición de imágenes L+R. El usar Z-Cam para la televisión es una opción más aplicable a la televisión digital. La calibración y el uso de estas cámaras es más complejo que el usar una cámara estereoscópica, esta genera pulsos de luz infrarroja con diodos láser que son reflejados por los objetos que la cámara capta, al capturar esta reflexión el dispositivo calcula para cada pixel la distancia exacta a la que se

encuentra y genera un mapa de profundidad, el cual no es más que el video original en escala de grises, en donde el blanco representa los pixeles más cercanos y el negro los pixeles con mayor componentes de profundidad Z.

La captura digital de imágenes produce representaciones discretas de escenas continuas. Esta discretización, en ambos, espacio e intensidad, es un proceso de muestreo que crea *aliasing* (un efecto despreciable en bordes y líneas de falta de continuidad en la forma de sierra o escalón), e información que se pierde en frecuencias por encima de la tasa de Nyquist. Es un hecho común desear obtener una imagen de mayor resolución a partir de una grilla de la imagen o un conjunto de imágenes, pero el *aliasing* y la pérdida de información de frecuencias convierte esto en un problema mal planteado (problema inverso). La solución típica para este problema (conocida en la literatura como reconstrucción de súperresolución de la imagen, o simplemente súperresolución) es usar un conjunto de imágenes de menor resolución relacionadas entre sí. Como cada una de estas imágenes tiene *aliasing*, la información de mayor frecuencia es ligeramente diferente, y bajo ciertas condiciones es posible “restaurar” algunas de las altas frecuencias perdidas por *aliasing* y reconstrucción.

Una imagen digital no es una instantánea exacta de la realidad, sino solamente una aproximación discreta. Este hecho debe ser evidente para el internauta promedio, el cual emplea comúnmente imágenes convertidas a bloques o fragmentos después de haber sido redimensionadas para ser ajustadas en una página en el navegador. El objetivo de la interpolación de imágenes es producir imágenes aceptables en diferentes resoluciones de una imagen única de baja resolución.

En la actualidad, la resolución de una imagen se define como el número de píxeles, no obstante, la resolución efectiva es una cantidad mucho más difícil de definir, dado que depende del juicio y percepción subjetivos de un ser humano. El problema de la interpolación de imágenes recibe muchos nombres, dependiendo de la aplicación: redimensionamiento de imágenes, sobremuestreo/submuestreo de imágenes, zooming digital, magnificación de imágenes, mejoramiento de la resolución, entre otros. El término súperresolución se refiere generalmente a la producción de una imagen de alta resolución a partir de múltiples imágenes, tales como una secuencia de video. Al definir interpolación como “rellenar el espacio interpixel,” el problema de la interpolación de imágenes puede ser encarado como un subconjunto del problema de *inpainting*, el cual consiste en un proceso de reconstrucción de las partes perdidas o deterioradas de una imagen o video.

Las aplicaciones de la interpolación de imágenes van desde el lugar común de la visualización de las imágenes en línea hasta la más sofisticada magnificación de las imágenes satelitales. Con el auge de la fotografía digital de alto consumo, los usuarios esperan tener un mayor control sobre sus imágenes digitales. El zooming digital tiene un rol muy importante a la hora de recoger pistas y detalles en imágenes o videos de vigilancia. Con la entrada de la tecnología de televisión de alta definición (en inglés, HDTV: *High-Definition TV*) en el mercado, los ingenieros están interesados en algoritmos rápidos de interpolación para disfrutar de programas tradicionales de TV de baja definición sobre HDTV. Las imágenes astronómicas provenientes de los vehículos espaciales y las sondas son recibidas en una tasa de transmisión extremadamente baja (cerca de 40 bytes por segundo), haciendo la transmisión de datos de alta resolución inviable. En imágenes médicas, a los neurólogos les encantaría disponer de la habilidad de magnificar una parte específica en las imágenes de tomografía cerebral. Esto constituye solo una

pequeña lista de aplicaciones, pero la gran variedad advierte que el resultado deseado de interpolación debería variar dependiendo de la aplicación y el usuario. Los métodos de interpolación difieren en su descripción matemática de una “buena” imagen interpolada. Aunque es difícil comparar métodos y juzgar sus salidas, existen criterios básicos para un buen método de interpolación. Los primeros 8 son propiedades visuales de la imagen interpolada, el último es una propiedad computacional del método de interpolación.

- Invarianza geométrica: los métodos de interpolación deberían preservar la geometría y las dimensiones relativas de los objetos en una imagen. Es decir, el subconjunto original no debería cambiar bajo interpolación.
- Invarianza de contraste: el método debería preservar los valores de luminancia de los objetos en una imagen y el contraste general de la imagen.
- Ruido: el método no debería adicionar ruido u otros artefactos a la imagen, tales como replicación de los bordes, en las inmediaciones de estos.
- Preservación de los bordes: el método debería preservar los bordes y transiciones, conformándolos donde sea posible.
- *Aliasing*: el método no debería producir bordes entrecortados o tipo escalones de escalera.
- Preservación de texturas: el método no debería generar blur o suavizado de las regiones texturadas.

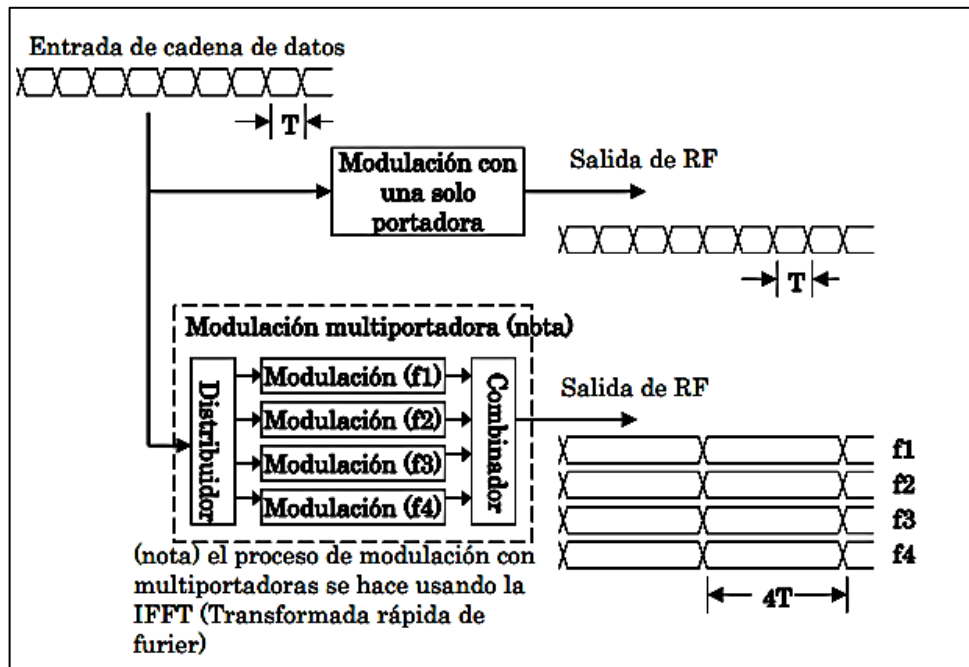
- Sobresuavizado: el método no debería producir regiones constantes indeseables a trozos o a bloques
- Conciencia de aplicación: el método debería producir resultados apropiados de acuerdo al tipo de imagen y resolución final. Por ejemplo, los resultados interpolados debería parecer realistas para imágenes fotográficas, pero para imágenes médicas los resultados deberían tener bordes nítidos y de alto contraste. Si la interpolación es para imágenes en general, el método debería ser independiente del tipo de imagen.
- Sensibilidad a los parámetros: el método no debería ser sensible también a parámetros internos los cuales pueden variar de imagen a imagen.

3.5.1.4. Dominio de la frecuencia multiplexada

La característica más importante del ISB-T es su sistema de transmisión. La tecnología OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) de transmisión, es un sistema de transmisión de multipotadoras. En el sistema de transmisión OFDM, los datos digitales son divididos en multipotadoras y enviados.

Como resultado, la longitud del símbolo de transmisión, tiene mayor longitud que en un sistema de transmisión de una sola portadora. Si el símbolo de transmisión tiene mayor longitud habrá menos degradación por la interferencia intersímbolos (ICI), causada por la interferencia *multi-path* también llamada fantasma.

Figura 29. Diagrama de relación entre la modulación y las longitudes

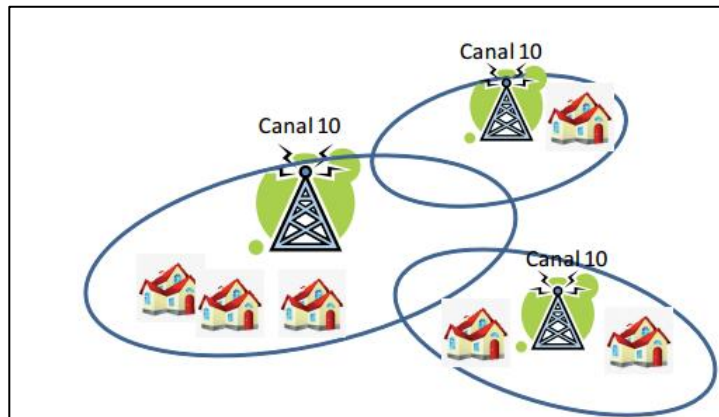


Fuente: *Televisión digital al alcance de todos una introducción simple al estándar japonés ISDB-T y a las telecomunicaciones modernas*. Consulta: 15 de enero de 2015.

En la figura 29 se muestran cuatro portadoras como un sistema multiportadoras. La longitud del símbolo se extiende 4 veces, por otro lado, en un sistema de una sola portadora, la longitud del símbolo tiene la misma longitud de la señal de entrada. En un espectro radioeléctrico cada vez más congestionado, el uso de varias frecuencias para alcanzar toda el área de cobertura puede transformarse en un gran problema. Por esa razón, el sistema ISDT-B ha contemplado el uso de un sistema con una única frecuencia por canal televisivo en el que una estación base de origen, transmite la señal con alta potencia y otras estaciones la amplifican y retransmiten a una menor potencia utilizando exactamente la misma frecuencia original. El mayor problema asociado a este tipo de redes es la relación con la interferencia entre símbolos producida en el receptor por causa de múltiples antenas transmitiendo

en la misma frecuencia. Este problema es drásticamente reducido en ISDB-T, gracias al intervalo de guarda que utiliza OFDM. Lógicamente, entre mayor es el intervalo de guarda mayor es la protección contra la interferencia procedente de otras antenas y por esa razón, los modos de transmisión 2 y 3, son los elegidos en este tipo de situaciones, en la figura 30 se muestra un diagrama del sistema.

Figura 30. **Sistema de una sola frecuencia**



Fuente: *Televisión digital al alcance de todos una introducción simple al estándar japonés ISDB-T y a las telecomunicaciones modernas*. Consulta: 17 de enero de 2015.

- Red de frecuencias múltiples: aunque su uso no está muy difundido en Japón, la red de frecuencias múltiples también existe en el estándar ISDB-T. En este modo de transmisión la frecuencia original difiere de la de retransmisiones utilizadas en las estaciones base locales. Su gran desventaja es el uso ineficiente del espectro radioeléctrico. En términos de costo de equipamiento, sin embargo, resulta una solución tradicional mucho más barata que su par de frecuencia única descrito anteriormente.

3.5.2. Acceso condicional

Dentro de la cadena de distribución de televisión digital, el Sistema de Acceso Condicional (CAS) tiene como objetivo limitar la recepción de determinados servicios, únicamente a los usuarios autorizados por el proveedor del servicio. Dichos usuarios estarán provistos de un receptor apropiado para la recepción de estos servicios. El CAS permitirá seleccionar y los instantes de tiempo en que estos pueden ser utilizados por los usuarios autorizados. Permite también gestionar de forma sencilla las autorizaciones de cada usuario, de forma individual o colectiva.

Figura 31. Plataformas acceso condicional

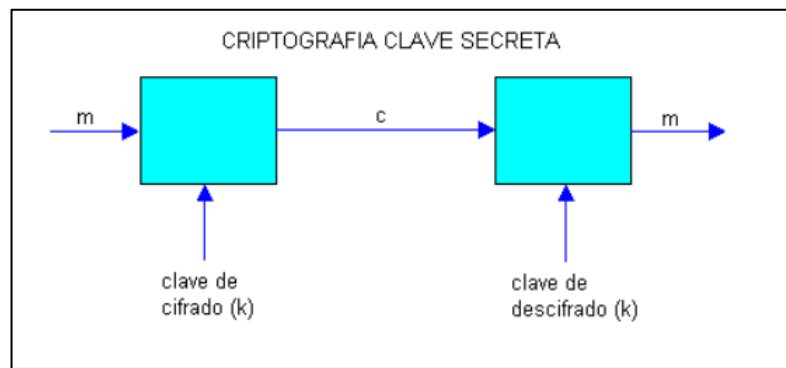
Acceso Condicional			
Fabricante			
Tipo	Simulcrypt	Multicrypt	Multicrypt

Fuente: PISCIOTTA, Néstor Oscar. https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/PFC_Ignacio_Cierco.pdf. Consulta: 17 de enero de 2015.

- **Encriptación:** la reserva de los derechos adquiridos sobre las producciones a retransmitir, así como el cumplimiento de las obligaciones legales, hace imprescindible proceder a la encriptación de la señal transmitida. Se han desarrollado varios sistemas de encriptación que han ido evolucionando a lo largo de los años, principalmente, para mejorar su protección contra “hackers”.

- Criptografía de clave secreta o simétrica: esta se basa en la utilización de la misma clave para el cifrado y para el descifrado, es decir, la robustez de un algoritmo de cifrado simétrico recae en el conocimiento de dicha clave. Sus ventajas son la sencillez de implementación, su rapidez y diseño e integración de un sistema de acceso condicional para TDT. La robustez que provee; sin embargo, la manera de distribuir las claves a los usuarios es difícil de resolver: la distribución de claves: como la clave debe ser secreta para garantizar plenamente la confidencialidad de los datos cifrados.

Figura 32. **Sistema de clave secreta o simétrica**

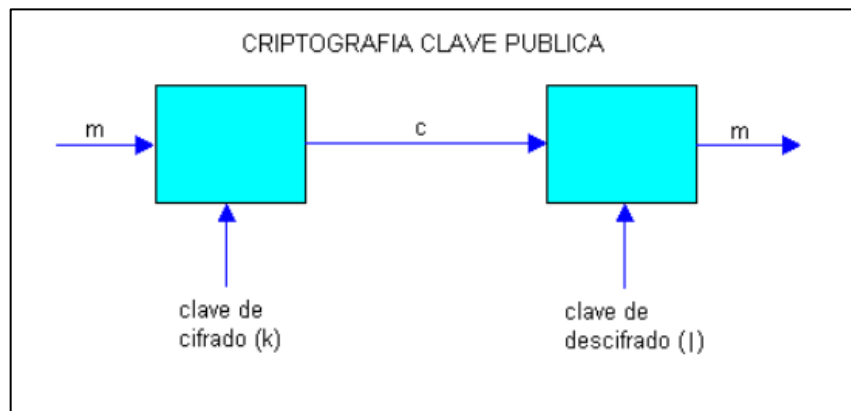


Fuente: PISCIOTTA, Néstor Oscar. https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/PFC_Ignacio_Cierco.pdf. Consulta: 19 de enero de 2015.

- Criptografía de clave pública o asimétrica: esta nació como solución al problema de la distribución de claves, que se basa en la utilización de dos claves, una para cifrar y otra para descifrar. A partir de un mensaje cifrado con su clave, se puede obtener el mensaje con la clave de descifrado; es decir, un usuario A cifra un mensaje con la clave pública del usuario B (destinatario), este para descifrarlo utiliza su clave secreta únicamente conocida por él; por tanto cada usuario tendrá que mantener

y gestionar dos claves, lo cual hace más complejo y lento el sistema. Dicho esquema se presentó en 1976 por Diffie y Hellman.

Figura 33. Sistema de clave pública o asimétrica



Fuente: PISCIOTTA, Néstor Oscar. https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/PFC_Ignacio_Cierco.pdf. Consulta: 22 de enero de 2015.

- Tipos de acceso condicional: para hacer decodificadores con un uso más universal, los dos procesos que se establecieron bajo la norma estándar del sistema DVB son "*symulcrypt*" y el "*multicrypt*".
 - *Symulcrypt*: es el tipo de acceso condicional utilizado por canal satélite digital. Es un sistema que se caracteriza por permitirle a la plataforma poseer varios sistemas de acceso condicional diferentes. La ventaja es que puede utilizar diferentes fabricantes de decodificadores.
 - *Multicrypt*: es el tipo de acceso condicional que había utilizado vía digital. La diferencia con el primero es que permite la utilización de dos sistemas de acceso condicional en el mismo

descodificador mediante un módulo de ampliación (posiblemente una tarjeta PCMCIA).

3.5.3. Transmisión de datos

El estándar ISDB-T incluye los cuatro formatos de transmisión que se muestran en la tabla VI.

Tabla VI. **Formatos de transmisión en ISDB-T**

Formato	Tamaño	Aspecto	Barrido	Cuadros/segundo
525i	720x480	16:9, 4:3	Entrelazado	29,97
525p	720x480	16:9	Progresivo	59,94
750p	1280x720	16:9	Progresivo	59,94
1125i	1920x1080	16:9	Entrelazado	29,97

Fuente: *Televisión digital al alcance de todos una introducción simple al estándar japonés ISDB-T y a las telecomunicaciones modernas*. Consulta: 28 de enero de 2015.

Tal como se explicó anteriormente, los datos son transportados usando el contenedor MPEG2 Transport Stream, conocido como MPEG2-TS o simplemente como TS. Este formato permite multiplexar y sincronizar diferentes canales de audio, video y datos, ofreciendo además mecanismos de corrección de errores para medios de comunicación propensos al ruido e interferencia como el canal inalámbrico. La corrección de errores es su diferencia fundamental con el MPEG2 Program Stream o MPEG2-PS ampliamente utilizado en los DVDs. En TS, la unidad básica de información es un paquete. Este paquete consiste en un byte de sincronización con valor hexadecimal 0x47, tres bits con banderas de información básica y un identificador de paquetes PID de 13 bits. El PID sirve para detectar programas, los cuales son listados junto a sus canales de video, audio y datos respectivos en una tabla

llamada Program Map Table (PMT). Por ejemplo, supongamos que se están transmitiendo tres programas en definición estándar en el canal de 6 MHz donde cada uno está compuesto de un canal de video, 2 canales de audio y un canal de datos. Los tres programas con sus respectivos canales de audio, video y datos aparecerán en la tabla PMT. Si en el lado receptor interesa extraer solo uno de estos programas, bastará entonces, con filtrar todos los paquetes con el PID asociado a la tabla de este programa e ignorar todos los demás.

El protocolo TS es el que permite a ISDB-T realizar la transmisión simultánea de diferentes programas en el mismo canal de 6 MHz. En el caso del estándar brasileño códec de video como MPEG2 o H,264 explotan las correlaciones espaciales y temporales internas dentro de un video de manera de comprimir lo más posible la información que se transmite. Gracias a esto se puede disfrutar actualmente el video *online* en internet desde los hogares. El MPEG2 y H,264 definen diferentes tipos de cuadro: I, P y B. Los cuadros I sirven de fotografía de referencia para todos los cuadros de una serie o grupo. Por la misma razón son los cuadros más pesados dentro cualquier video. Los P dependen del cuadro I inicial de su serie y de otros cuadros P anteriores. Los B dependen del cuadro I inicial, así como de cuadros P anteriores y posteriores. SBTVD se cambió el formato de compresión de video MPEG2 utilizado en ISDB-T por el doblemente eficiente formato H,264. Sin embargo, el transporte sigue realizándose con TS. La diferencia es que, en ISDB-T el canal de video vendrá comprimido con MPEG2 y en el estándar brasileño viene comprimido con el doblemente eficiente códec H,264. Esto permite al SBTVD transmitir el doble de programas que ISDB-T en el mismo canal de 6 MHz, sin necesidad de cambiar la tecnología base de ISDB-T ni su transporte usando TS.

En el caso del *middleware* Ginga propuesto por Brasil para reemplazar el lenguaje de *markup* Broadcast Markup Language (BML) del ISDB-T, se puede

cambiar a nivel de TS el canal de datos que usa BML por Ginga. Como podrá apreciarse, el protocolo de transporte TS ofrece una enorme flexibilidad para el uso de diferentes estándares de video, audio y datos sin necesidad de cambiar la tecnología base de ISDB-T. Por esta misma razón, también es utilizado por el estándar americano ATSC y el europeo DVB-T.

3.5.4. Información de servicios

La ISDB-T toma en consideración la conformidad entre la transmisión televisiva y de sonido. La ISDB-T con segmentos completos apoya la transmisión terrestre de televisión digital y la ISDB-Tsb utiliza de uno a tres segmentos, apoyando la transmisión terrestre de sonido digital. La ISDB-T puede también suministrar transmisión de datos que consisten en texto, diagramas, imágenes fijas e imágenes de video para aparatos portátiles, así como imágenes de alta calidad y sonido estéreo. En contraste con transmisión por satélite digital, tiene la capacidad de ofrecer información de interés local detallada. Más aún, tiene un gran potencial para difundir terminales móviles de multimedia, tales como radios para vehículos y receptores de bolsillo.

Los siguientes requerimientos han sido considerados durante el desarrollo de ISDB-T.

- Capacidad de proveer una variedad de servicios de video, sonido y datos.
- Ser suficientemente robusto ante cualquier interferencia multitrayectorias y pérdida de intensidad encontrada durante recepción portátil o móvil.

- Tener receptores separados dedicados a la televisión, sonido y datos, así como receptores completamente integrados.
- Ser suficientemente flexible para acomodar diferentes configuraciones de servicios y asegurar flexibilidad en el uso de capacidad de transmisión.
- Abarcar un área suficientemente amplia para asegurar la satisfacción de requerimientos futuros.
- Acomodar redes de frecuencia única (SFN).
- Usar frecuencias vacantes efectivamente, y
- Ser compatible con servicios análogos existentes y otros servicios digitales.

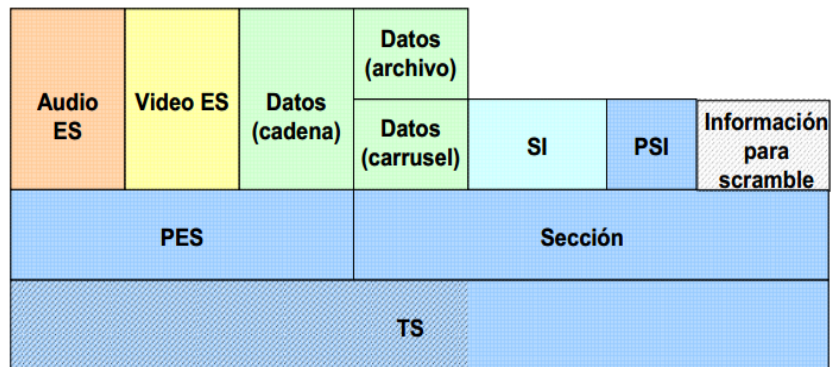
Para satisfacer todos los requerimientos, la ISDB-T ha utilizado una serie de herramientas únicas, tales como el sistema de modulación OFDM asociado con la segmentación de bandas, que le da al sistema un gran flexibilidad y la posibilidad de transmisión jerárquica, tiempo, intercalación que contribuye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

En Brasil y en muchos otros países de Latinoamérica, la estructura de los flujos de transporte (*transport streams*, TS) para la televisión digital terrestre corresponde al estándar ISDB-T. El sistema de monitoreo DTV R&S®DVMS y el analizador de TV R&S®ETL, muestran los elementos de un TS establecido, incluyendo todos los elementos específicos de ISDB-T / ISDB-TB, como las tablas H-EIT, M-EIT y L-EIT, estructurados en forma de árbol. En los estándares ISDB-T/ISDB-TB los BTS (Broadcast Transport Streams) enviados al transmisor, se diferencian claramente de los TS que se pueden recibir por antena, tanto en su estructura como por las informaciones adicionales específicas. La estructura específica de los BTS se tiene en cuenta en el *display*: en la estructura de árbol se ve a qué capa de transmisión (A, B o C) pertenece cada elemento. Los elementos de control del transmisor que no se envían al receptor se marcan con la indicación “*nottransmitted*”. Esta forma de representación permite visualizar rápidamente la estructura del TS y detectar inmediatamente las divergencias y desviaciones de la estructura deseada.

3.5.5. Multiplexación

ISDB-T adoptó el sistema MPEG-2 como tecnología multiplex. En estos sistemas los contenidos, video/audio/datos son multiplexados en un paquete llamado flujo de transporte (Transport Stream). Aunque cualquier tipo de contenido/servicio puede ser multiplexado.

Figura 34. **Concepto multiplexado**



Fuente: *Televisión digital al alcance de todos una introducción simple al estándar japonés ISDB-T y a las telecomunicaciones modernas*. Consulta: 29 de enero de 2015.

Los formatos de la señal PES, TS están definidos por ARIB STD-32B, solo en el esquema establecido para el sistema MPEG-2. Los contenidos de flujo como video, audio y flujo de datos, son convertidos al formato TS y multiplexados; por otro lado, los contenidos que no son del tipo de flujo de datos, son convertidos al formato de sección y finalmente convertidos al formato TS y multiplexados.

3.5.6. Codificación de audio

El funcionamiento de esta maravilla tecnológica se basa en el uso de una herramienta matemática conocida como la transformada discreta del coseno modificada, con la que se pasa la señal del dominio del tiempo al de la frecuencia. Una vez que la señal se encuentra representada en la frecuencia se muestrea de acuerdo a un cierto nivel de cuantización pasándola a un formato digital. En el proceso de cuantización se sigue un modelo físicoacústico que elimina los sonidos que resultan imperceptibles para un ser humano. Luego de

agregar códigos de corrección de error la señal puede ser almacenada localmente como un archivo o transmitida en tiempo real.

Así como se puede explotar la correlación temporal y deshacer la información perceptual menos relevante en un video, puede hacerse lo mismo con el audio. El códec de audio utilizado en el estándar ISDB-T es el Advanced Audio Coding (AAC), el cual generalmente ofrece una mejor calidad que su predecesor MP3 para la misma tasa de transmisión de datos. El códec de AAC permite la transmisión de sonido estéreo (dos canales) a tan solo 96 Kbps. Sin embargo, para cumplir con el altísimo estándar de calidad de transparencia de sonido definido por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) (International Telecommunications Union), los dos canales de sonido estéreo se transmiten a 128 Kbps. La tasa de transferencia requerida para cumplir con el mismo estándar de transparencia de sonido en el caso de 5.1 canales es 320 Kbps. El teorema de Nyquist-Shannon o teorema del muestreo Nyquist y Shannon son dos de los científicos más relevantes en el área de las telecomunicaciones y su trabajo, especialmente el de este ha conformado la base de lo que hoy se conoce como teoría de la información. El enunciado del teorema puesto en palabras simples dice: “Cualquier señal cuya máxima componente de frecuencia sea B Hertz puede ser representada perfectamente por una señal digital cuyas muestras han sido tomadas en intervalos de tiempo de $1/(2B)$ segundos”.

¿Qué quiere decir esto? Por ejemplo, el oído humano puede percibir sonidos solo entre frecuencias de 400 y 22 mil Hertz. Así, para representar perfectamente un sonido perceptible por un ser humano en formato digital, se necesita tomar muestras del sonido al doble de 22 mil Hertz, vale decir 44 mil hertz, lo que equivale a tomar 44 mil muestras por segundo. Esa frecuencia de

muestreo asegura que la señal digital resultante, será una perfecta representación de la señal analógica original, al menos para el oído humano.

Las frecuencias de muestreo que el formato AAC admite, están dentro de 8 kHz y 96 kHz. La máxima frecuencia de muestreo de 96 kHz permite en teoría representar sonidos con frecuencias de hasta 48 kHz, lo que sin duda asegura una calidad mayor a la que cualquier ser humano es capaz de percibir. Por otra parte, la frecuencia de muestreo de 8 kHz permite escuchar sonidos con frecuencias de hasta 4 kHz, cuya calidad equivale aproximadamente a la de una conversación telefónica.

El enorme rango de frecuencias de muestreo ofrecido por AAC asegura la disponibilidad de cualquier calidad que se desea para la aplicación. El estándar AAC es sin duda uno de los más difundidos actualmente. También en los estándares de televisión digital, incluido el ISDB-T.

3.5.7. Codificación de video

En términos generales se puede afirmar que entre mayor es la tasa de compresión, menor es el ancho de banda requerido para transmitir la misma cantidad de información. Como contraparte, sin embargo, los algoritmos que ofrecen altas tasas de compresión requieren de un alto poder de procesamiento en el receptor, así como de eficientes mecanismos de corrección de errores.

Los códigos convolucionales y los Reed-Solomon son códigos de corrección de errores que por definición son independientes del tipo de datos que se desea enviar (texto, video, imágenes, entre otros). Eso quiere decir, que brindan el mismo nivel de protección a un grupo de bits de audio que de video o mensajes de texto. La codificación para comprimir datos de video o de audio

corresponde a otro tipo de codificación, llamada codificación de fuente. Su objetivo no es proteger la información de los posibles errores en el canal, sino comprimirla hasta un nivel en que resulte más eficiente transportarla. Así se puede comprimir la información, explotando sus correlaciones internas a fin de agruparla en valores que usen una menor cantidad de bits de información.

Una señal de televisión analógica, la tasa de transmisión de datos que se necesita para ofrecerla en formato digital sin compresión es de más de 100 megabits por segundo (Mbps). Para el caso de televisión de alta definición (1920x1080) la tasa de datos se incrementa a 1,2 giga bits por segundo (Gbps), equivalente a 1200 veces 1 Mbps. Vale la pena mencionar que una conexión a internet por ADSL desde los hogares ofrece típicamente hoy en 2015, un ancho de banda promedio de 10 Mbps. La máxima tasa de transferencia de datos en ISDB-T (Estructura del Sistema ISDB-T), ocurre con la transmisión en alta definición con modulación de 64QAM, código convolucional (4,3) e intervalo de guarda de 1/8 de símbolo en OFDM y equivale a 18 Mbps. La increíble reducción de 1,2 Gbps a 18 Mbps para transmitir un video en alta definición se debe a la compresión que ofrece el códec de video MPEG2. El códec H.264, dos veces más eficiente que el MPEG2, brinda esa increíble calidad de video en aproximadamente 10 Mbps. El sistema japonés ISDB-T utiliza el códec de video MPEG2, y para su transporte el contenedor llamado MPEG2-TS, que incluye 16 bytes del código de corrección de errores Reed-Solomon.

4. TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN GUATEMALA

4.1. Infraestructura de la televisión actual en Guatemala

La Constitución Política de la República de Guatemala, en su artículo 121, literal h, reconoce las frecuencias radioeléctricas como bienes del Estado. La Ley General de Telecomunicaciones, (Decreto 94-96 del Congreso de la República de Guatemala) como ley específica en materia de telecomunicaciones, persigue entre otros, el fin de normar el aprovechamiento y la explotación de las frecuencias radioeléctricas, de tal forma que se apoye, promueva y garantice el desarrollo eficiente de la infraestructura de telecomunicaciones guatemalteca. En la actualidad, debido a los desarrollos tecnológicos en el campo de las telecomunicaciones, las frecuencias radioeléctricas son, sin lugar a dudas, la columna vertebral de la infraestructura de telecomunicaciones.

Desde esa perspectiva, las frecuencias radioeléctricas como recurso natural no renovable, deben ser explotadas de forma ordenada con el fin de optimizar su utilización. Con ello se garantizará que un mayor número de usuarios de las frecuencias radioeléctricas puedan alcanzar sus objetivos en el área de telecomunicaciones y disfrutar de una mejor calidad de vida. Con el fin de realizar esa explotación ordenada y productiva del espectro radioeléctrico reconocido internacionalmente, es imprescindible que se cuente con herramientas técnicojurídicas claras tendientes no solo a tecnificarla explotación de este, sino que permitan de ser necesario, los medios para resolver conflictos de interferencias perjudiciales entre usuarios del recurso natural involucrado.

En Guatemala, la televisión establece una relación asíncrona, de este modo no hay ninguna relación temporal entre la estación que transmite y la que recibe. Es decir, el ritmo de presentación de la información al destino no tiene por qué coincidir con el ritmo de presentación de la información por la fuente. En estas situaciones, tampoco se necesita garantizar un ancho de banda determinado, suministrando solamente el que esté en ese momento disponible. Es un tipo de relación típica para la transmisión de datos. En este tipo de red el receptor no sabe con precisión cuándo recibirá un mensaje. Cada carácter a ser transmitido es delimitado por un bit de información denominado de cabecera o de arranque, y uno o dos bits denominados de terminación o de parada.

- El bit de arranque tiene dos funciones de sincronización de reloj del transmisor y del receptor.
- El bit o bits de parada se usan para separar un carácter del siguiente.

Después de la transmisión de los bits de información se suele agregar un bit de paridad (par o impar). Dicho bit sirve para comprobar que los datos se transfieran sin interrupción. El receptor revisa la paridad de cada unidad de entrada de datos. Partiendo desde la línea de transmisión en reposo, cuando tiene el nivel lógico 1, el emisor informa al receptor de que va a llegar un carácter, para ello antepone un bit de arranque (*start*) con el valor lógico 0. Una vez que el bit *Start* llega al receptor este disparará un reloj interno y se quedará esperando por los sucesivos bits que contendrá la información del carácter transmitido por el emisor. Una vez que el receptor recibe todos los bits de información, se añadirá al menos un bit de parada (*stop*) de nivel lógico 1, que repondrán en su estado inicial a la línea de datos, dejándola así preparada para la siguiente transmisión del siguiente carácter. Es usada en velocidades de modulación de hasta 1 200 baudios. El rendimiento se basa en el uso de un bit de arranque y dos de parada, en una señal que use código de 7 bits más uno

de paridad (8 bits sobre 11 transmitidos) es del 72 por 100. Entonces, para ver un programa debe coincidir el momento de la transmisión por parte de la emisora y la disposición para verlo de parte del telespectador. Tiene pobre calidad técnica comparada con la fotografía y el cine. Emite programación para todos los receptores al mismo tiempo. Ocupa un considerable ancho de banda, esto quiere decir un gran espacio radioeléctrico. Es bastante ineficiente en el sentido que transmite gran cantidad de información redundante y aun así, no logra tener calidad de imagen, Utiliza para la recepción aparatos "dedicados". La publicidad emitida llega a "todos" los televidentes, aún a los que no les interesa.

4.2. Ente regulador (SIT)

La Superintendencia de Telecomunicaciones con fundamento en la función que le atribuye el artículo 7 literal b) de la Ley General de Telecomunicaciones y cuyo fin es asignar los distintos servicios de radiocomunicaciones reconocidos internacionalmente a las diferentes bandas de frecuencias incluidas dentro de lo que se conoce como espectro radioeléctrico; crea una herramienta que recibe el nombre genérico de Tabla Nacional de Atribución de Frecuencias, (en adelante "TNAF"). Esta tabla es el instrumento técnico-legal, emitido por La Superintendencia de Telecomunicaciones. El objetivo es ante todo, el verificar la situación actual en la que se encuentra la regulación del sector en relación a temas que son trascendentales para la convergencia. Dada su complejidad y características naturales que definen distintas áreas dentro del espectro radioeléctrico, el mismo ha sido dividido en bandas de frecuencia o simplemente bandas. Con ello, aparte de identificar de forma práctica áreas menores dentro de la totalidad del espectro radioeléctrico, se permite una mejor y eficiente forma de administrarlo. Intencionalmente se reconocen un conjunto de bandas, a las

cuales se le han asignado nombre, dependiendo dentro de qué parte de la extensión reconocida del espectro radioeléctrico se encuentran.

Tabla VII. **Bandas de frecuencias reconocidas**

Número de la banda	Símbolos (en inglés)	Gama de frecuencias (excluido el límite inferior, pero incluido el superior)	Subdivisión métrica correspondiente	Abreviaturas métricas para las bandas
4	VLF	3 a 30 kHz	Ondas miriamétricas	B.Mam
5	LF	30 a 300 kHz	Ondas kilométricas	B.km
6	MF	300 a 3 000 kHz	Ondas hectométricas	B.hm
7	HF	3 a 30 MHz	Ondas decamétricas	B.dam
8	VHF	30 a 300 MHz	Ondas métricas	B.m
9	UHF	300 a 3 000 MHz	Ondas decimétricas	B.dm
10	SHF	3 a 30 GHz	Ondas centimétricas	B.cm
11	EHF	30 a 300 GHz	Ondas milimétricas	B.mm
12	-	300 a 3 000 GHz	Ondas decimilimétricas	-

NOTA 1: La «banda N» (N = número de la banda) se extiende de $0,3 \times 10^N$ Hz a 3×10^N Hz. NOTA 2: Prefijos: k = kilo (10^3), M = mega (10^6), G = giga (10^9).

Fuente: *Reglamento de radiocomunicaciones de la UIT*, versión 2012.

Consulta: 30 de enero de 2015.

El ordenamiento anterior constituye la forma práctica de identificación de las bandas incluidas en la TNAF. Los nombres (símbolo) de las bandas de frecuencias incluidas en la columna dos de la tabla VII, son abreviaturas del nombre extenso de cada una de ellas; por norma internacional, debe utilizarse la abreviatura en idioma inglés, siendo el significado de cada uno de ellos el que se describe en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Nombre bandas de frecuencias reconocidas**

SIMBOLO	INGLÉS	ESPAÑOL
VL F	Very Low Frequency	Muy Baja Frecuencia
L F	Low Frequency	Baja Frecuencia
M F	Medium Frequency	Frecuencias Medias
H F	High Frequency	Alta Frecuencia
VH F	Very High Frequency	Muy Alta Frecuencia
UH F	Ultra High Frequency	Ultra Alta Frecuencia
SH F	Super High Frequency	Super Alta Frecuencia
EH F	Extremely High Frequency	Extremadamente Alta Frecuencia

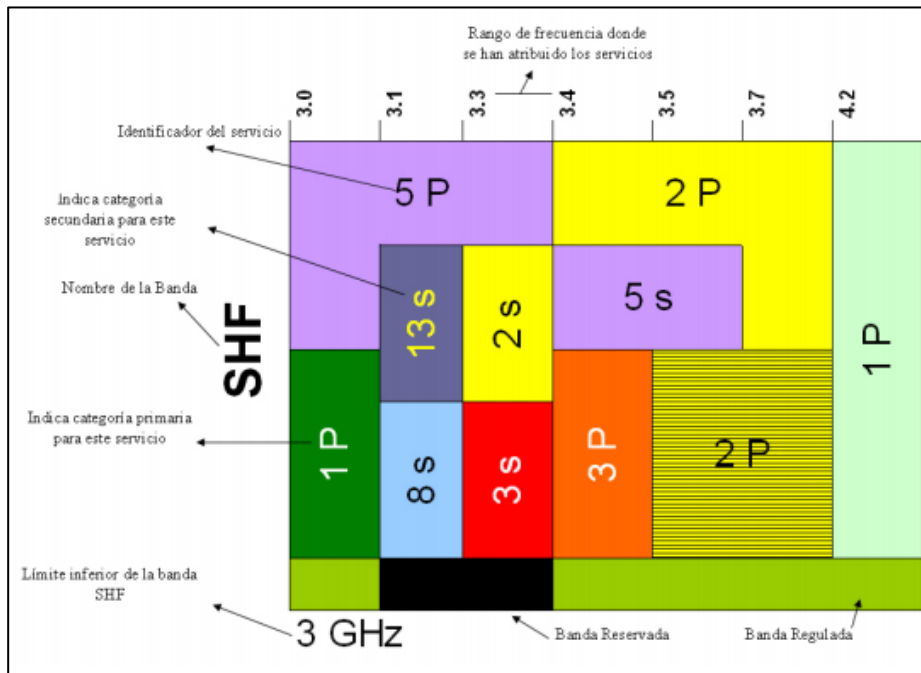
Fuente: *Reglamento de radiocomunicaciones de la UIT*, Versión 2012.

Consulta: 30 de enero de 2015.

De forma general, los servicios de radiocomunicación pueden definirse como la transmisión, la emisión o la recepción de ondas radioeléctricas para fines específicos de telecomunicación. Mundialmente y por medio del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.

Con el fin de que el usuario se familiarice con la estructura de la TNAF, aprenda cómo debe utilizarse e interpretar de mejor forma la información contenida en ella, se presenta un extracto de la TNAF (figura 35), se señalan en dicha figura las distintas parte que la componen y se provee un ejemplo de la interpretación técnicajurídica que de ese extracto puede hacerse.

Figura 35. Extracto de la TNAF (gráfica)



Fuente: Reglamento de radiocomunicaciones de la UIT, Versión 2012.

Consulta: 30 de enero de 2015.

El segmento presentado en la figura 35, corresponde a la banda de frecuencia llamada SHF (súper alta frecuencia), el rango indicado en la figura se extiende desde los 3,0 hasta los 4,2 GHz.

El rango antes indicado, acorde a la Ley General de Telecomunicaciones de Guatemala, incluye dentro de él, tanto bandas reservadas como bandas reguladas, así:

- De 3,0 a 3,1 GHz: banda regulada (franja verde en la parte inferior)
- De 3,1 a 3,4 GHz, banda reservada (franja negra en la parte inferior) y
- De 3,4 a 4,2 GHz, banda regulada (franja verde en la parte inferior)

El bloque bajo análisis incluye un total de ocho atribuciones de servicios de radiocomunicaciones; acorde a la codificación incluida en la misma TNAF (gráfica), los servicios atribuidos en este bloque por rango de frecuencia son:

- De 3,0 a 3,1 GHz: Radiolocalización a título primario (5P violeta)
Radionavegación a título primario (1P verde oscuro)
- De 3,1 a 3,3 GHz: Radiolocalización a título primario (5P violeta) exploración de la Tierra por satélite a título secundario (13s violeta oscuro).
Investigación espacial a título secundario (8s celeste).
- De 3,3 a 3,4 GHz: Radiolocalización a título primario (5P violeta)
Fijo a título secundario (2s amarillo)
Móvil a título secundario (3s rojo)
- De 3,4 a 3,5 GHz: Radiolocalización a título secundario (5s violeta)
Fijo a título primario (2P amarillo)
Móvil (salvo móvil aeronáutico) a título primario (3P naranja)
- De 3,5 a 3,7 GHz: Fijo a título primario (2P amarillo) radiolocalización a título secundario (5s violeta).
Fijo por satélite a título primario (2P amarillo con líneas)
- De 3,7 a 4,2 GHz: Fijo a título primario (2P amarillo)
Fijo por satélite a título primario (2P amarillo con líneas)

En la banda 3,1 a 3,4 GHz, es posible autorizar derechos de uso del espectro radioeléctrico para equipos que exploten cualquiera de los servicios

atribuidos a ese rango y que pertenezcan a instituciones gubernamentales. Mientras que en los rangos 3,0 a 3,1 y 3,4 a 4,2 GHz, puede otorgarse derechos de explotación a cualquier interesado que cumpla los requisitos del artículo 61 de la Ley General de Telecomunicaciones y aquellos equipos que operen en los servicios atribuidos a esos rangos.

En la banda 3,7 a 4,2 GHz, los servicios fijo y fijo por satélite pueden coexistir siguiendo recomendaciones técnicas de compartición de frecuencias. Los usuarios deben asegurarse de no causarse interferencia perjudicial unos a otros.

En la banda 3,4 a 3,5 GHz, los servicios fijo y fijo por satélite, deben ser protegidos por aquellos usuarios explotando el servicio de radiolocalización debido a que este último está atribuido con categoría secundaria. Además, este no puede reclamar protección de interferencia respecto a la operación de los servicios fijo y fijo por satélite. Este criterio es el que debe ser utilizado en cualquier rango de la TNAF en donde exista más de un servicio atribuido y estos posean categorías diferentes.

En la banda 3,1 – 3,3 GHz, el servicio de exploración de la tierra por satélite puede pedir protección de interferencia procedente del servicio de Investigación Espacial y viceversa, ello por tener ambos una atribución secundaria. Sin embargo, al que le fue asignado primero el derecho es el que puede reclamar la protección. Ambos servicios deben proteger al servicio de radiolocalización por estar este atribuido a título primario.

Después de estudiar la norma europea DVB-T y la estadounidense ASTC, Guatemala decidió la implementación de TDT 31 bajo el estándar japonés-

brasileño ISDB-T. La TDT entrará de forma gradual en el país hasta el 2015, que se tiene planeado el apagón analógico.

Tras el Acuerdo Gubernativo 226-2013, La Superintendencia de Telecomunicaciones (SIT) deberá comenzar el proceso de sustitución de sistemas analógicos en el país, además de establecer en qué plazo funcionará la TDT. El Ministerio de Comunicaciones de Brasil apoyó a Guatemala en su elección. Enviaron a técnicos que visitaron Brasil para entrenamiento y ofrecieron un seminario en Guatemala. Se deberán firmar acuerdos de cooperación entre los países ahora que se tomó la decisión de adopción del sistema ISDB-T.

El secretario de Telecomunicaciones del MiniCom, Maximiliano Martinhão, dijo que: “La cooperación debe incluir cursos y capacitaciones tanto en el campo industrial como en la investigación e innovación, así como lo hicimos con otros países que ya adoptaron el sistema”. Por otro lado, el gerente general de Guatevisión, Jaime Torres, dijo que: “Este modelo es favorable para el país, porque contiene varias ventajas. Los convertidores de señal de análogo a digital son más económicos en el mercado. También se pueden hacer transmisiones de televisión a la telefonía móvil, con mayor nitidez de sonido e imagen”.

La norma japonesa-brasileña es la de mayor difusión entre los países latinoamericanos, entre ellos: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Costa Rica, Ecuador, Paraguay, Perú, Uruguay, Nicaragua y Venezuela. Por su parte, Colombia y Panamá eligieron el modelo europeo (DVB-T), México, El Salvador, Honduras y República Dominicana impulsaron el estadounidense (ATSC).

4.3. Principales parámetros para establecer un estándar de TDT

En Guatemala, el recurso de frecuencias no es suficiente para dar comienzo a esta generación de transmisión, la utilización efectiva de frecuencias tendrá que ser uno de los requerimientos de esta generación. También el servicio de internet está en el camino de penetración y espera que sea el principal servicio de comunicación del futuro cercano, por lo que la armonización con internet también establece un requerimiento importante. Con el fin de soportar los servicios de interactividad como un nuevo servicio de transmisión, la transferencia de datos se fijó como un requerimiento. Ver tabla IX.

Tabla IX. **Requerimientos en Guatemala para la transmisión de la TDT**

No.	Item	Requerimiento	Notas
1	Alta calidad	HDTV en 6MHz de ancho de banda	
2.	Robustez	Robustez contra multi-pad, ruidos urbanos , desvanecimiento y cualquier otra interferencia.	
2.	Flexibilidad		
2(1)	Del Servicio	Cualquier servicio es posible en 6MHz de ancho de banda	posibilidad de HD/SD
2(2)	De la recepción	Cualquier sistema de recepción es posible, fijo/ móvil/ portátil, en el mismo ancho de banda	
3	Utilización efectiva del recurso de frecuencias	Posibilidad de SFN (Single Frequency Network - Isofrecuencia) para reducir frecuencias.	
4.	Interactividad	Armonización con la red	
5	Transferencia de datos		
6.	Compatibilidad	Se requiere la máxima compatibilidad para reducir los costos de recepción. Especialmente en la radio digital, es deseable un estándar común.	

Fuente: PISCIOтта, Néstor Oscar. www.sit.gob.gt/index.php/download_file/view/316/153/.

Consulta: 3 de febrero de 2015.

Los servicios de movilidad y portabilidad se reconocieron como una ventaja importante de la transmisión que usa radiofrecuencias. Por tal motivo, la nueva tecnología de transmisión deberá desarrollarse para poder permitir los servicios de movilidad y portabilidad. Todos estos requerimientos se han visto realizados en el sistema ISDB-T, que ha sido el sistema seleccionado por el Estado guatemalteco.

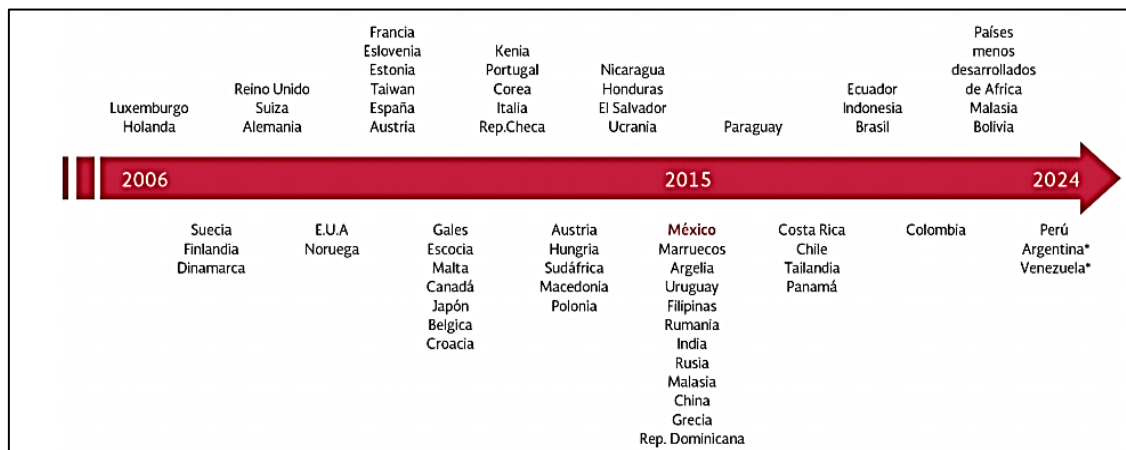
4.4. Desafío para la implementación de TDT

Uno de los aspectos importantes en la transición a la televisión digital terrestre tendrá como objetivo central el usuario, garantizando el acceso equitativo a servicios de telecomunicaciones de clase mundial. Teniendo incidencia directa en la calidad de audio y video, y servicios adicionales que recibirá el usuario. La televisión es un servicio público de interés general, por lo que el Estado está obligado a garantizar que sea prestado en condiciones de competencia y calidad, brindando los beneficios de la cultura a toda la población, preservando la pluralidad y oportunidad de la información. Todo el mundo está en proceso de cambio hacia la utilización de la más moderna tecnología, asegurándose del uso óptimo del espectro para la prestación de servicios de banda ancha. La digitalización de las señales deriva en una mejor calidad de imagen evitando otros problemas como la imagen doble y la nieve. Se tendrá la mejor calidad de sonido, se caracterizará por la ausencia de ruidos e interferencias, problemas comunes en la televisión analógica.

El desafío se encuentra en el cese de las transmisiones de televisión analógica, denominado comúnmente como “apagón analógico”, ya que se ha llevado a cabo en diferentes partes del mundo. De acuerdo a las políticas establecidas para el caso, se han tomado diferentes plazos para la terminación de dichas transmisiones. Este proceso de transición ha incluido campañas

informativas y de comunicación para los concesionarios permisionarios y el público en general, para que tome conciencia tanto de los beneficios de la digitalización, como de los riesgos de no realizar las acciones necesarias ante el apagón de las señales analógicas. La mayoría de los países europeos ya concluyeron su transición, mientras que algunos países asiáticos y latinoamericanos se encuentran en proceso.

Figura 36. **Países que transitaron y están en proceso de transición a la TDT**



Fuente: SCT, con base en información de los países y Mediatelcompolicy&law.

Consulta: 3 de febrero de 2015.

Los países que han logrado la transición a la TDT, han establecido una fecha límite para llevar a cabo el “apagón analógico”. En Guatemala, esta fecha está prevista por la reforma de telecomunicaciones para el 2015. En El Salvador lo tiene planteado para el 2019, Costa Rica para el 2016, Panamá y Honduras para el 2020. Sin embargo, una de las dificultades es el bajo poder adquisitivo de la población para comprar televisores con antena digital incluida o en su defecto comprar receptores que decodifiquen la señal. Por lo pronto, los canales nacionales realizan pruebas de sus transmisiones de forma digital abriendo un espectro paralelo al análogo.

El cambio no es tan fácil, ya que el proceso de transmisión requiere de actualización de tecnología. En la producción, edición y posproducción de un canal, que involucra equipo totalmente digital. Actualmente, la televisión análoga guatemalteca utiliza espectros similares a los que utiliza la AM y FM, sin embargo, las transmisiones por esta vía codifican los datos para que viajan solo por una onda específica, llamada canal. La transmisión digital, utiliza una transmisión parecida, pero con antenas y repetidores con mayores capacidades que logran una codificación binaria y una frecuencia que permite la ampliación de canales para transmitir otros contenidos.

Existen muchos más desafíos, ya que Guatemala es un país con muchos volcanes y montañas, creando desafíos en la transmisión para toda la población. Existen diferentes formas de lograr este tipo de transmisión, que involucra el uso de antenas terrestres, señales satelitales, internet y cableados, y el uso de la fibra óptica. Mientras tanto el usuario podrá continuar recibiendo los contenidos con un sintonizador o decodificador que convierte la señal digital a una análoga. Aunque no tendrá la misma calidad ni ventajas que ofrece un televisor que ya tiene este tipo de transmisores.

Otros desafíos que encuentra la TDT, consisten en tecnologías que empiezan a emerger con fuerza, como internet TV, redes móviles 4G y a través de ellas el uso de marketing móvil, IPTV entre otras, es por eso que se presentan desafíos y oportunidades para la TDT.

5. COMPONENTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN GUATEMALA

La televisión digital terrestre es el futuro, ya que será la única televisión gratuita dentro de unos años. No obstante, su implantación en todo el territorio puede ser más rápida o más lenta, dependiendo del interés que muestren gobierno y cadenas por implantarlas.

5.1. Beneficios de la TDT

Como resultado de la aplicación de las tecnologías digitales de procesamiento de la información a la señal de televisión, la cual es posteriormente transmitida por medio de ondas hercianas terrestres, que se transmiten por la atmósfera sin necesidad de cable o satélite y se reciben por medio de antenas de televisión UHF convencionales. Las ventajas asociadas al procesamiento digital de la señal de televisión se traducen en ventajas, tales como un mejor aprovechamiento del espectro electromagnético (lo que a su vez permite un aumento del número de canales de televisión emitidos), así como mejoras en la calidad de la imagen y el sonido que reciben los usuarios. También se hace posible añadir interactividad a la utilización de la televisión por parte de los usuarios.

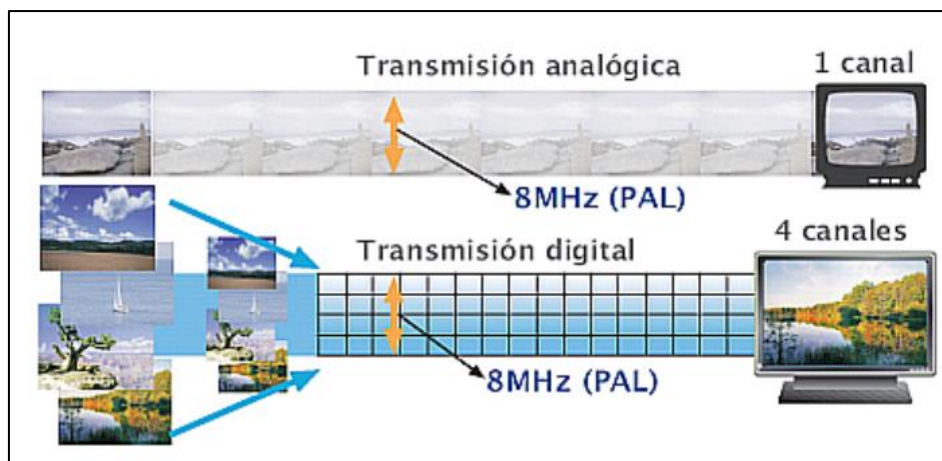
Las principales ventajas asociadas a la utilización de la televisión digital terrestre son las siguientes.

- Facilidad de recepción y menor coste.
- Permite la recepción con antenas UHF convencionales (individuales o colectivas), incluso con antenas interiores, lo que supone un coste

mínimo para el usuario con relación con otros sistemas. Además permite la recepción de la señal sin perturbaciones en vehículos en movimiento (tren, autos, caravanas, entre otros). A esto hay que añadir que la difusión terrestre es el medio de distribución audiovisual con mayor penetración en los hogares.

Son necesarias, sin embargo, para la recepción de TDT en los hogares algunas adaptaciones de coste no demasiado elevado de las instalaciones ya existentes, sobre todo de las antenas colectivas y del incremento de la oferta audiovisual.

Figura 37. **Comparación de televisión digital terrestre/televisión analógica**



Fuente: *Información sobre la nueva televisión digital.*
http://televisiondigitalterrestretdt.com/ventajas_de_la_tdt.htm.
Consulta: 3 de febrero de 2015.

Estabilidad de la imagen de la televisión digital: la excelente calidad y estabilidad de las imágenes pueden ser apreciadas en teléfonos móviles. Esto

era algo impensable en el caso de la televisión analógica. La forma en que esto se logra en el sistema ISDB-T es con la tecnología *OneSeg*. El sistema estadounidense de televisión analógica NTSC utiliza canales de 6 MHz de ancho de banda.

El sistema japonés de ISDB-T subdivide el canal analógico de 6 MHz de NTSC en 14 subcanales de 429 KHz. Uno de esos canales está reservado para la transmisión a dispositivos móviles usando la tecnología *OneSeg*, que quiere decir un segmento, mientras que otro ha quedado como un ancho de banda de “guarda” para evitar interferencias con los canales contiguos. Los 12 subcanales restantes son para transmisiones de video de alta calidad a dispositivos fijos y pueden ser asignados de forma, para optar a un solo canal en calidad de súper alta definición (*Full High Definition*), con una resolución de 1920x1080 píxeles), o a dos o tres canales de menor definición transmitidos en forma simultánea.

Esta flexibilidad que se le brinda a la estación televisiva para usar su espectro radioeléctrico de 6 MHz, es también algo impensable en el caso de la televisión analógica.

El estándar ISDB-T permite también la transmisión de datos por un canal separado. De esta forma junto al contenido de video puede mostrarse información del clima, del nivel de congestionamiento de las carreteras y otros datos en tiempo real, horario e información de los programas, entre otros.

Usando el canal de datos se puede transmitir también información casi instantánea sobre terremotos, tsunamis, tifones u otros desastres naturales.

5.2. Componentes necesarios para la recepción

La fase de recepción en la televisión digital es el proceso inverso respecto a la transmisión, permitiendo recibir las distintas programaciones en todo el país.

Figura 38. Sistema de recepción



Fuente: *Información sobre la nueva televisión digital.*

http://televisiondigitalterrestretdt.com/ventajas_de_la_tdt.htm. Consulta: 6 de febrero de 2015.

La descripción de un receptor con decodificador integrado llamado comúnmente receptor de TDT, o bien IRD (Integrated Receiver-Decoder), resume la serie de operaciones que sufre la señal de TV desde la fuente hasta su visualización por el usuario. Según los parámetros de codificación escogidos, para recibir correctamente la TDT hacen falta dos cosas:

- Que los usuarios dispongan de un receptor digital externo (conocido como set top box, STB) para adaptar las señales al televisor analógico o bien un televisor digital integrado (que incluye el STB en el mismo televisor).

Figura 39. **El set-Top Box**



Fuente: *Información sobre la nueva televisión digital.*

http://televisiondigitalterrestretdt.com/ventajas_de_la_tdt.htm. Consulta: 6 de febrero de 2015.

La arquitectura del equipo es muy similar al de un computador clasificado por capas: capa de hardware, sistema operativo, la plataforma o middleware y la capa de aplicaciones. El *middleware* proporciona un API (Application Programming Interface) para cada uno de los tipos de programación que soporta.

- Adaptar las instalaciones: la mayoría de las viviendas multifamiliares emplean antenas colectivas para recibir la TV analógica y probablemente requieran una adaptación de la instalación de cabecera y de la red de distribución hasta las viviendas o locales.

Las antenas empleadas para la recepción de TDT, Hay tanto exteriores como interiores. Una antena de TV digital debe cumplir básicamente las siguientes características:

- Tener una buena captación de la señal, sobre todo en zonas de señal débil.
- Evitar la captación de señales reflejadas en edificios, montañas u otros obstáculos causantes de las dobles imágenes o imágenes fantasma.
- Evitar también reflexiones de señal en el propio sistema.
- Ser afectada por el mínimo posible de interferencias.
- Ser adecuada para el mayor número de canales posible.

Las antenas exteriores son las que típicamente se colocan en la fachada de los edificios o en la cubierta. Las antenas que se suelen utilizar son las Yagi para UHF, aunque se debe prestar atención a su comportamiento para las frecuencias altas de UHF, donde se ubican los canales digitales, aunque poco a poco esto irá cambiando cuando la banda de 790 a 862 MHz quede libre.

- Dipolo: el dipolo consiste en dos elementos conductores rectilíneos colineales de igual longitud, alimentados en el centro, y de radio mucho menor que el largo. La longitud del dipolo es la mitad de la longitud de onda de la frecuencia de resonancia del dipolo y en general la impedancia del dipolo simple es de 73Ω

Figura 40. **Antena de recepción dipolo**



Fuente: C.A.Balanis. *Antenna Theory and Design*, John Wiley&Sons, Nueva York, 1997.

Consulta: 6 de febrero de 2015.

- Dipolo doblado: cuyos brazos han sido doblados por la mitad y replegados sobre sí mismos. Los extremos se unen. La impedancia del dipolo doblado es de 300 Ohm, muy superior a la impedancia del dipolo simple. El dipolo doblado se puede descomponer en el modo par o modo antena, con la misma alimentación en los dos brazos, y el modo impar o modo línea de transmisión, con dos generadores con signos opuestos. El modo impar equivale a dos líneas de transmisión en cortocircuito, alimentadas en serie. Aunque no contribuye a la radiación, sí afecta la impedancia a la entrada. El modo par de la línea de transmisión equivale a dos dipolos paralelos, alimentados con la misma tensión. Teniendo en cuenta la simetría del problema, las corrientes deberán ser iguales en los dos dipolos y valer cero en el extremo.

Figura 41. **Antena de recepción dipolo doblado**



Fuente: C.A.Balanis. *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons, Nueva York, 1997.

Consulta: 7 de febrero de 2015.

- Monopolo: es una antena derivada del dipolo, la diferencia es que solo tiene un brazo y el otro es sustituido por un plano de masa. Los monopolos se emplean en bajas frecuencias, ya que los dipolos a esas longitudes de onda son demasiado grandes.

Figura 42. **Equivalencia de un dipolo y un monopolo y distintos monopolos**



Fuente: C.A.BALANIS. Antenna Theory and Design, John Wiley & Sons, Nueva York, 1997.

Consulta: 7 de febrero de 2015.

Antena Yagi: está constituida por varios elementos paralelos y coplanarios que suelen ser dipolos. Estos dipolos pueden actuar como elemento activo, directores o reflectores. Es utilizada para la recepción de señales de televisión desde los inicios de la misma. Los elementos directores dirigen el campo eléctrico, los activos radian el campo y los reflectores lo reflejan. Los elementos no activos se denominan parásitos, la antena yagi puede tener varios elementos activos y varios parásitos.

Su ganancia está dada por: $G = 10 \log n$ (donde n es el número de elementos por considerar). Para obtener una antena yagi de banda ancha es necesario hacer ajustes en la distancia entre los elementos para obtener, junto con el ancho de banda deseado, la ganancia óptima. Las configuraciones de antena yagi, en las que el elemento activo es un dipolo doblado, suelen proporcionar las mejores prestaciones de ancho de banda.

Figura 43. **Antena Yagi**



Fuente: C.A. BALANIS. *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons, Nueva York, 1997.

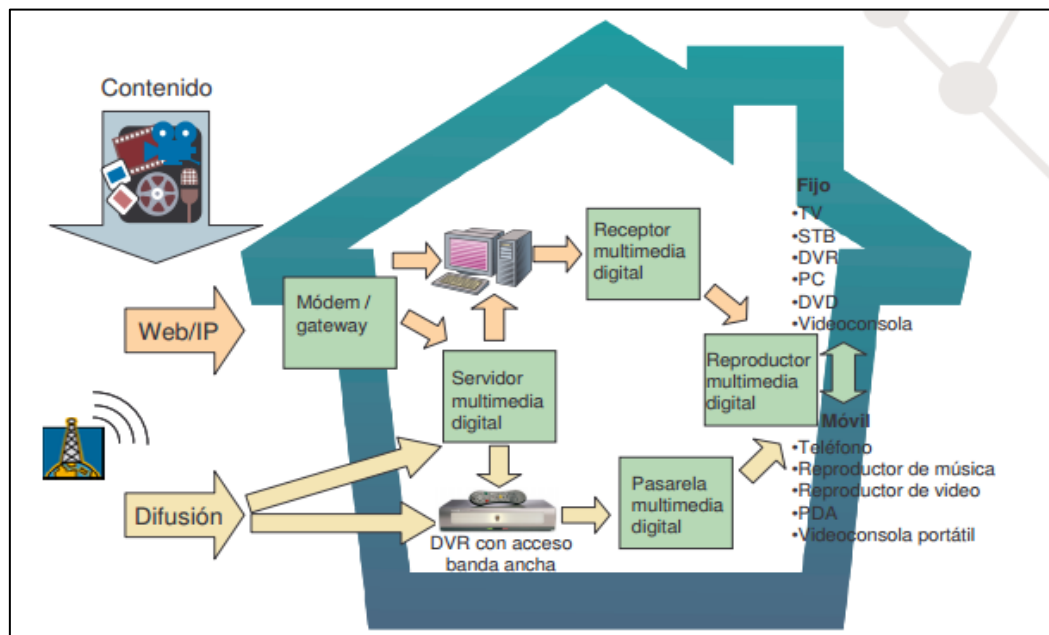
Consulta: 7 de febrero de 2015.

- Antenas interiores: existen varias antenas receptoras de TDT en el mercado, que se pueden colocar en un vehículo, en una vivienda o en un portátil. En general, las antenas interiores son menos eficientes que las exteriores debido a que captan menos señal y es más recomendable usar estas antenas, si son para una vivienda cerca de un balcón o una ventana, ya que se pueden colocar en cualquier lugar de la casa (siempre que haya una señal medianamente aceptable). Aquí se muestran las características básicas de las antenas TDT, hay muchos tipos, pero el presente proyecto no engloba este tipo de antenas
- Son capaces de captar tanto la banda VHF (170 MHz a 230 MHz) como la UHF (470 a 872 MHz).
- Suelen tener una ganancia de 20 a 30 dB.
- Generalmente necesitan un decodificador de TDT.

- Son omnidireccionales, ya que suelen ser simples dipolos, lo que no permite encarar directamente la antena a un repetidor y por este motivo no son tan eficaces.
- Para que sea eficiente conviene estar en un lugar alto y donde haya suficiente nivel de señal.
- Son económicas.

La tradicional separación y barrera entre los servicios de voz, datos y televisión está desapareciendo con el desarrollo de la banda ancha. El hogar digital o el hogar conectado es la materialización de esta idea de convergencia de servicios: de entretenimiento, de comunicaciones, de gestión digital del hogar y de infraestructuras y equipamiento.

Figura 44. **EL futuro del hogar digital**



Fuente: *Contenidos digitales, nuevos modelos de distribución*. <http://observatorio.red.es/gaptel>.

Consulta: 8 de febrero de 2015.

5.3. Componentes necesarios para la transmisión

Suele producirse cierto temor e incertidumbre, respecto a la planificación, implementación y operación de los nuevos sistemas digitales que, en muchos casos tendrán que coexistir un número indeterminado de años, con los sistemas analógicos. Desde el punto de vista de la información a transmitir, puede decirse que la arquitectura general de los transmisores es, básicamente, la misma en el dominio analógico que en el digital y que un sistema transmisor es, en principio, transparente en el sentido de que la señal de entrada es modulada, amplificada y radiada al espacio o conducida a través de cable o fibra óptica.

En condiciones ideales a un transmisor prácticamente le da igual si la señal que va a transmitir es digital o analógica. De hecho, para las primeras pruebas de transmisión de televisión digital se utilizaron transmisores analógicos con algunas modificaciones necesarias a causa de la naturaleza de la señal, de modo que con las modificaciones adecuadas, un transmisor fabricado hace treinta o cuarenta años, puede ser utilizado para transmisión digital de televisión.

Se han introducido nuevas tecnologías para mejorar, tanto la calidad de la señal transmitida como la eficiencia de los equipos, así como reducir las necesidades de mantenimiento y costos de operación. Estas nuevas tecnologías comprenden, principalmente el empleo de amplificadores de estado sólido para potencias elevadas, desarrollo de nuevos tipos de válvulas y dispositivos de estado sólido más eficientes para amplificación de potencia en UHF, así como combinadores que eliminan la necesidad de efectuar conmutaciones con el transmisor fuera del aire.

Independientemente de que se trate de señales analógicas o digitales, los sistemas de transmisión de televisión terrestre pueden clasificarse de acuerdo a diferentes criterios.

- Potencia: según la potencia de salida que el transmisor entrega a la línea de transmisión y a la antena, los sistemas pueden clasificarse como:
 - Baja potencia: aquellos en que la potencia de salida del transmisor es inferior a 500 w.
 - Media potencia: cuando la potencia de salida es superior a 500 w, e inferior a 10 Kw.
 - Alta potencia: cuando la potencia de salida del transmisor es superior a 10 Kw.

Se establece un criterio inicial que depende, entre otras cosas, de la tecnología utilizada en el transmisor, de la complejidad de la instalación, de los requisitos necesarios en lo que respecta energía eléctrica, accesos, área de cobertura, entre otros.

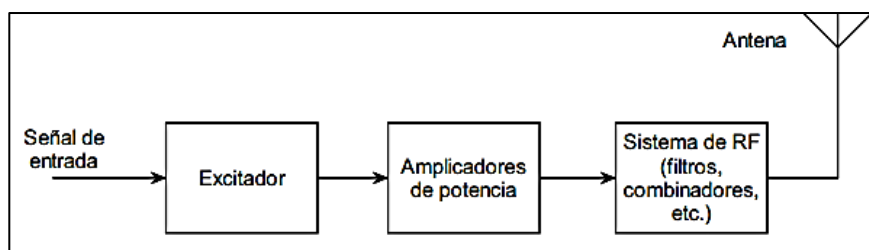
- Tipo de señal: la señal de entrada al transmisor puede ser analógica o digital, en banda base o en un canal de RF. En este caso, se puede hacer una clasificación adicional:
 - Transmisor: es el que recibe la señal, bien sea analógica o digital, en banda base, la traslada a un canal de radiofrecuencia, la amplifica y la transmite al aire.
 - Retransmisor o reemisor: es el que recibe la señal en un canal de RF y, sin demodularla, la traslada a otro canal de RF, generalmente distinto al de entrada, la amplifica y la transmite

nuevamente al aire. La razón de que los canales de entrada y salida en un reemisor sean diferentes, es evitar que la señal radiada por la antena transmisora se realimente a la misma frecuencia a través de la antena receptora.

- Tecnología: según la tecnología utilizada en los amplificadores de potencia, los transmisores pueden ser de estado sólido o con válvulas de vacío. En general, el costo de operación de los transmisores de estado sólido es mayor que el de válvulas de vacío a potencias superiores a unos 7 Kw, por lo que en la mayor parte de los transmisores actuales de alta potencia, se emplea la tecnología de válvulas de vacío.
- Amplificación común o separada: esta clasificación solamente es aplicable a los transmisores analógicos, en que las señales de vídeo y audio se modulan con esquemas diferentes, se combinan o multiplexan en frecuencia y se transmiten. El nivel de potencia al que se realiza la combinación de las señales determina esta clasificación.

En términos generales, la arquitectura de los transmisores, bien sean analógicos o digitales, es prácticamente la misma.

Figura 45. **Arquitectura básica de un transmisor**

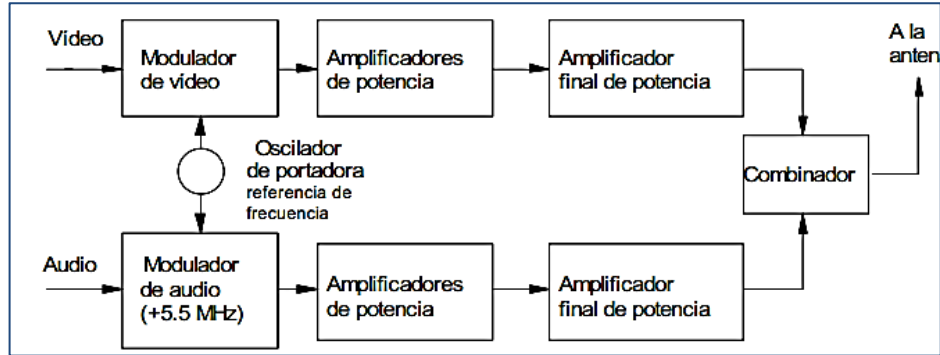


Fuente: PÉREZ VEGA, Constantino – 2005. *Transmisión de televisión, introducción a los sistemas transmisores de TV*. p. 85.

El excitador contiene, básicamente, al modulador, cuya salida es una señal modulada a la frecuencia de la portadora o a alguna frecuencia intermedia, en cuyo caso, contiene también un conversor ascendente para trasladar la señal en FI a la frecuencia de la portadora del canal de RF. En los transmisores digitales, el modulador puede incluir también, al codificador de canal. Como parte del excitador, suelen incluirse los amplificadores de baja potencia para la señal modulada que, dependiendo del diseño particular del transmisor, pueden proporcionar una señal de RF desde unas fracciones de vatio hasta unos 50. En la tecnología actual de los transmisores de televisión el excitador está constituido por elementos de estado sólido.

La transmisión analógica en las que señales de audio y vídeo deben multiplexarse en frecuencia pueden darse dos variantes, se trata, en realidad de dos transmisores, uno modulado en amplitud para el vídeo y otro modulado en frecuencia para el audio, por lo que en este caso se habla de un excitador o modulador de vídeo y otro de audio, la frecuencia central de salida de este último es desviada 4,5 o 5,5 MHz de la frecuencia de la portadora de vídeo y enganchada a esta. Por lo general, la potencia de salida de audio es de 1/10 de la de vídeo.

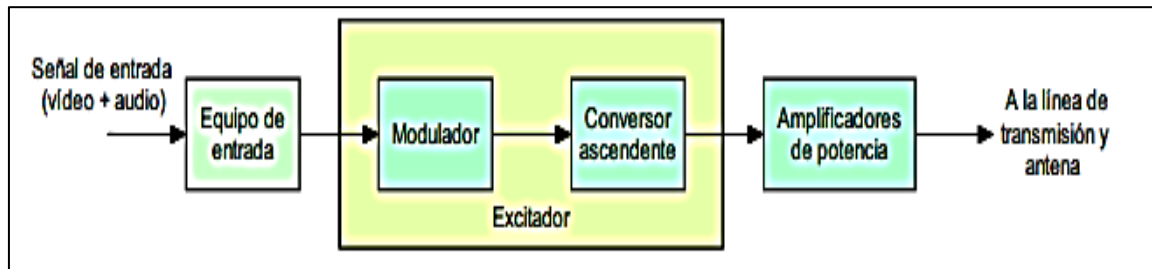
Figura 46. **Sistema transmisor de amplificación separada**



Fuente: PÉREZ VEGA, Constantino – 2005. *Transmisión de televisión, introducción a los sistemas transmisores de TV*. p. 88.

El multiplexado se realiza a la salida de los amplificadores de potencia mediante un circuito combinador o diplexor con filtro de ranura, que puede ser implementado mediante un acoplador de 3 dB. La modulación se realiza en bajo nivel, es decir, a niveles de unos cuantos milivatios, lo que hace, que la eficiencia del sistema sea relativamente baja. La técnica utilizada a partir de la década de 1960 fue la de insertar el filtro de banda vestigial en las primeras etapas, a bajo nivel de potencia a menor costo y tamaño más compacto. Algo similar ocurre con la combinación de las señales de salida de los transmisores de audio y vídeo.

Figura 47. Sistema transmisor de amplificación común



Fuente: PÉREZ VEGA, Constantino – 2005. *Transmisión de televisión, introducción a los sistemas transmisores de TV*. p. 89.

Equipo de entrada: la señal de entrada, un flujo binario único en el caso digital o bien dos señales, una de vídeo y otra de audio en el caso analógico suele recibir un procesado previo que, en el caso de vídeo analógico consiste, principalmente, en restablecer el nivel correcto de cc, la forma correcta de los pulsos de sincronismo y de la subportadora de color, corregir la amplitud de la señal para entregar $1V_{PP}$ (0,7V de vídeo y 0,3V de sincronismo) al modulador. Suele incluirse también, un precorrector cuya función es compensar las no linealidades introducidas, principalmente, por los amplificadores de potencia, predistorcionando la señal.

La señal de audio suele pasar por un limitador, con el fin de que las señales de nivel elevado, al ser moduladas en frecuencia, no excedan el ancho de banda de audio. Estos equipos de entrada no forman parte del transmisor propiamente dicho, eventualmente, puede prescindirse de ellos. Modulador: la función del modulador es trasladar la señal en banda base a una frecuencia superior, que puede ser el canal de radiofrecuencia (RF) o bien una frecuencia intermedia (FI) inferior a la de RF. Esta última técnica es la que se emplea en casi todos los transmisores actuales, ya que a esa frecuencia intermedia es

posible realizar el control de algunos parámetros de la señal con mayor facilidad y a menor costo que a potencias grandes. La potencia de salida del modulador es muy pequeña, del orden de fracciones de watt.

Convertor ascendente: cuando se emplea modulación en FI, la señal modulada debe trasladarse en el espectro a la frecuencia del canal de RF, mediante un convertor ascendente. La salida de este convertor se filtra a la banda de paso de RF deseada para eliminar los componentes espurios fuera de banda y se amplifica hasta niveles de varios watts. Todo el conjunto anterior, modulador, convertor y amplificadores de baja potencia suele designarse como excitador.

Amplificadores de potencia: la salida del excitador se aplica a uno o varios amplificadores de potencia, cuya salida final se entrega a una línea de transmisión para conducir la señal hasta la antena. Los amplificadores de potencia pueden utilizar tecnología de estado sólido o de válvulas al vacío. En general, para potencias superiores a unos 10 KW suelen preferirse estas últimas.

La arquitectura de amplificación común se utiliza tanto en transmisores analógicos como digitales. El término común se refiere a la transmisión de señales analógicas de audio y vídeo, amplificadas simultáneamente por los mismos amplificadores de potencia.

Aspectos comunes a los sistemas de transmisión analógicos y digitales

- Medio de transmisión: en los sistemas de transmisión terrestre de televisión este es el mismo: la atmósfera terrestre en su porción inferior cercana a la superficie de la Tierra. Las características del entorno

terrestre como montañas, valles, construcciones, entre otros., influyen en el comportamiento de las ondas electromagnéticas, por lo tanto, en las características de la señal que llega a la antena receptora. Esta influencia, aunque en algunos aspectos básicos como la atenuación, es similar ya sea que se trate de señales analógicas o digitales, hay algunos efectos, principalmente debidos a las trayectorias múltiples que siguen las ondas electromagnéticas, que pueden afectar más a las señales digitales que a las analógicas. En condiciones de propagación en espacio libre, cuando no hay obstáculos entre las antenas transmisora y receptora, el comportamiento de la atmósfera es el mismo.

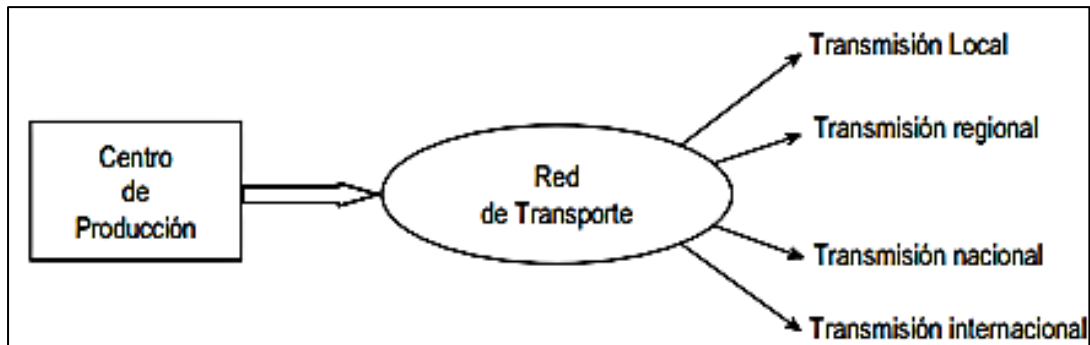
- Antenas: los sistemas de transmisión terrestre emplean antenas, tanto para transmitir como para recibir las señales de televisión. Las antenas son los elementos que convierten la energía de radiofrecuencia en un circuito a energía electromagnética radiada al espacio, si se trata de antenas transmisoras. En condiciones ideales, una antena es transparente, independientemente de que lo que transmita sean señales analógicas o digitales. Esto significa que el mismo tipo de antena puede usarse para televisión analógica que para digital. Las condiciones ideales suponen, principalmente, que la respuesta en frecuencia de la antena es plana en la banda de interés, en este caso, la banda correspondiente al canal de televisión de que se trate.
- Líneas de transmisión y guías de onda: la transparencia mencionada para las antenas es también válida para las líneas de transmisión y guías de onda, sin embargo, hay que hacer aquí una aclaración. Las líneas de transmisión y guías de onda deben ser capaces de manejar, sin dañarse, tanto la potencia promedio como la potencia pico de radiofrecuencia. En televisión analógica, la relación entre la potencia de pico y la

potencia promedio es del orden de 2 dB, en tanto que en televisión digital las características de la señal modulada hacen que esta relación sea del orden de 10 dB. Este es un factor importante a tener en cuenta en la implementación de los sistemas transmisores o, en el caso de sistemas analógicos preexistentes, en su adecuación para la transición de analógico a digital.

- Transmisores: en las pruebas iniciales de transmisión digital terrestre se utilizaron transmisores analógicos operativos, para lo cual se les sometió a algunas modificaciones que pueden considerarse menores y que consisten, principalmente en la modificación o sustitución del modulador y en ajustes en el excitador y los amplificadores de potencia para poder manejar las mayores potencias de pico de la señal digital. Por lo demás, asumiendo que el transmisor está bien ajustado y su respuesta en frecuencia es plana en la banda de paso del canal de interés, puede considerarse que el transmisor es también transparente y no le importa si las señales a transmitir son analógicas o digitales.

Se asume que la señal de televisión es generada en un centro de producción, bien sea de producción propia, o procedente de otras fuentes externas. La salida del centro de producción es una señal de audio y vídeo destinada a su transmisión al público en general. El destino de esta señal puede ser un transmisor local, o una red de transmisores para cubrir una región o un país

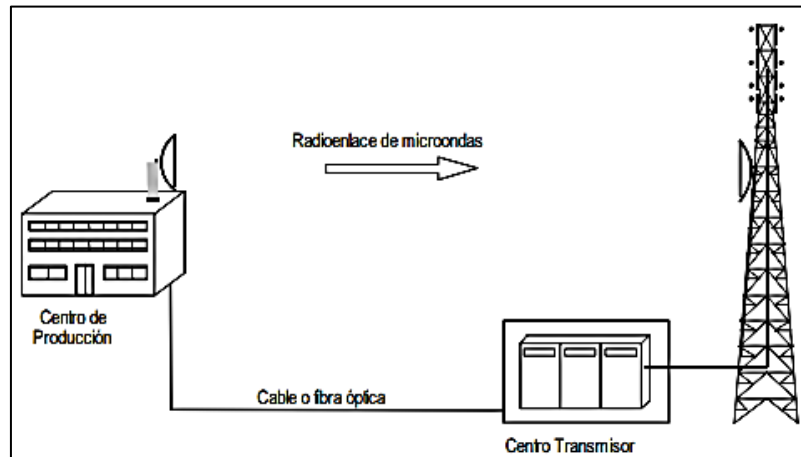
Figura 48. Estructura general del sistema de transmisión



Fuente: PÉREZ VEGA, Constantino – 2005. *Transmisión de televisión, introducción a los sistemas transmisores de TV*. p. 95.

- Transmisión local: es el caso típico de la transmisión destinada a cubrir una población y sus suburbios. El transmisor puede estar localizado o no en el propio centro de producción o en un lugar que, por sus condiciones geográficas, permita la cobertura adecuada de la población a la que se da servicio. Si el transmisor se localiza en el propio centro de producción, la conexión se realiza directamente mediante cables para vídeo y audio, en el caso analógico o un único cable en el caso digital, entre la salida del control maestro del centro de producción y la entrada del transmisor. Si el transmisor está fuera del centro de producción, el transporte de la señal puede hacerse por cable o fibra óptica, aunque en general se prefieren los radioenlaces de microondas

Figura 49. **Transmisión local de televisión**



Fuente: PÉREZ VEGA, Constantino – 2005. *Transmisión de televisión, introducción a los sistemas transmisores de TV*. p. 97.

- Transmisión regional: en este caso, la señal originada en el centro de producción, generalmente está destinada a más de un transmisor y es necesario transportarla bien, mediante radioenlaces terrestres de microondas o por satélite. En algunos casos se han implementado redes de fibra óptica con este propósito, aprovechando la infraestructura de las redes de distribución de energía eléctrica. La red de suministro a los transmisores es una red de contribución que se designa aquí como red primaria.

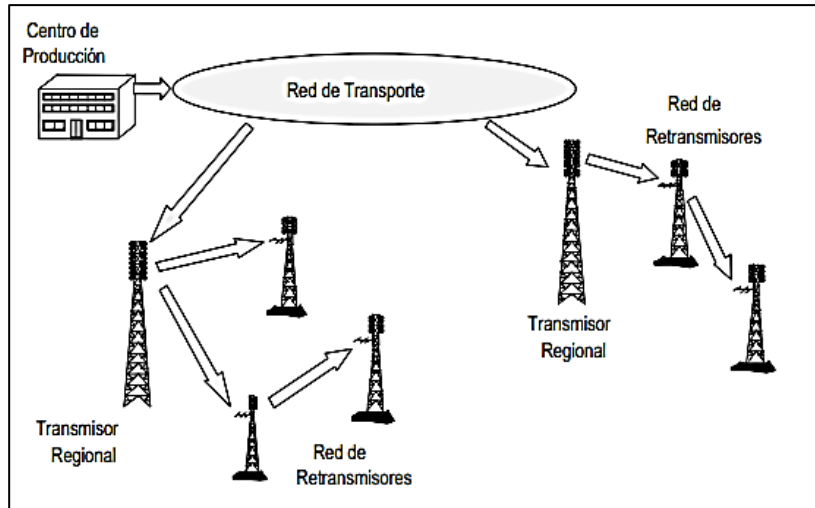
La señal transmitida por los emisores de la red primaria no alcanza a cubrir todos los núcleos de población en el área de servicio deseada y es necesario retransmitir esta señal primaria mediante reemisores emplazados en puntos adecuados, en que se tenga buena recepción de la señal primaria y cobertura adecuada hacia las zonas de población en sombra. Los reemisores reciben la señal de la estación primaria en el canal correspondiente de RF y la

trasladan directamente a otro canal sin bajarla a banda base, la amplifican al nivel necesario y la transmiten en este nuevo canal hacia la zona no cubierta o en sombra de la señal primaria. La señal de un reemisor puede ser retransmitida de nuevo hacia otras zonas extendiendo así la cobertura. Esta red de reemisores alimentados por las señales primarias o las procedentes de otros reemisores previos se designa aquí como red secundaria.

- Red nacional: su estructura es básicamente, la misma que se indica en la figura 50. En este caso, la señal nacional, destinada, por lo general, a toda la población de un país, suele pasar a través de los centros regionales de producción, con el fin de insertar programas locales o regionales a ciertas horas del día, en substitución de la programación nacional.

En estas condiciones es posible cortar el paso de la programación nacional hacia la red regional de transmisores primarios y secundarios. En la actualidad, las redes de transporte incluyen tanto la transmisión terrestre por microondas, como la transmisión por satélite.

Figura 50. Estructura de una red de transmisión terrestre

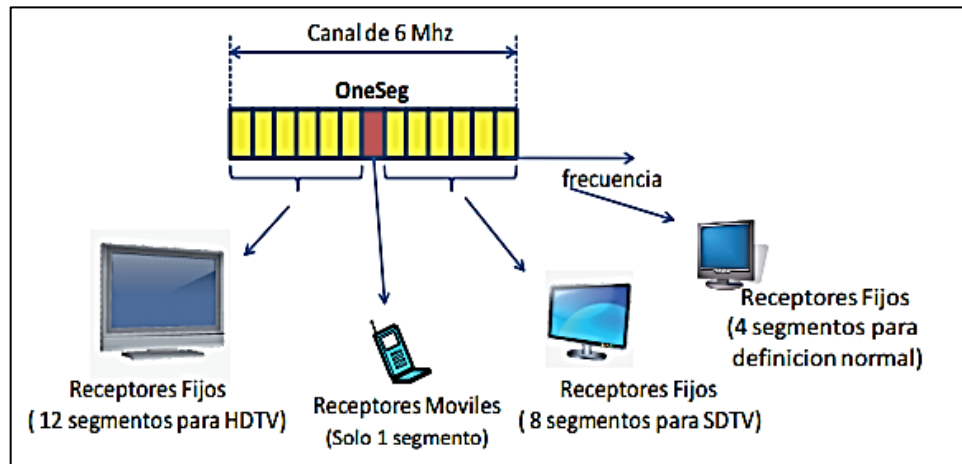


Fuente: PÉREZ VEGA, Constantino – 2005. *Transmisión de televisión, introducción a los sistemas transmisores de TV*. p. 99.

5.4. La telefonía y la televisión digital

El sistema OneSeg, para transmisiones a dispositivos móviles utiliza el códec H.264. El segmento que se encuentra justo en la mitad de la banda de 6 MHz se conoce como *OneSeg* (OneSeg Description) y se utiliza para transmitir a dispositivos móviles. Las transmisiones de OneSeg comenzaron el 1 de abril de 2006 en las ciudades japonesas de Tokio, Osaka y Nagoya, las más grandes del país. Fue el primer sistema de televisión digital para receptores móviles desplegados en el mundo.

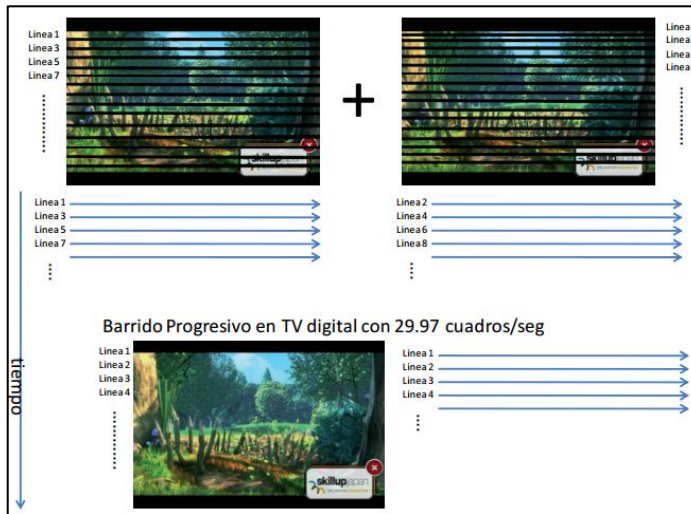
Figura 51. **Flexibilidad en el uso de los 13 segmentos de 429 KHz 13 segmentos de datos x 429 KHz + 429 KHz de guarda**



Fuente: PÉREZ VEGA, Constantino – 2005. *Transmisión de televisión, introducción a los sistemas transmisores de TV*. p. 99.

Sin embargo, desde junio de 2008 comenzó a funcionar el OneSeg2 que permite la transmisión simultánea de dos programas en el mismo segmento de OneSeg. Esto fue posible gracias a la introducción del códec de video H.264, el cual es dos veces más eficiente que su antecesor el MPEG2. La resolución de imagen transmitida en los sistemas OneSeg y OneSeg2 es de 320x240 y de 320x180 pixeles para pantallas del tipo 4:3 y 16:9, respectivamente. Esta resolución resulta suficiente para las pequeñas pantallas de celulares y otros receptores portátiles. OneSeg transmite los contenidos a 15 cuadros por segundo, valor que resulta bajo con respecto a las transmisiones en definiciones estándar, SD y HD que se realizan en los demás segmentos y que alcanzan 60 cuadros por segundo con barrido entrelazado o 30 cuadros por segundo con barrido progresivo. Pese a que la tasa de 15 cuadros por segundo es suficiente para la mayoría de los contenidos audiovisuales.

Figura 52. **Comparación de barridos entrelazado y progresivo**



Fuente: *Televisión Digital Al Alcance de Todos Una introducción simple al estándar japonés ISDB-T y a las telecomunicaciones modernas.* [Consulta: 12 de febrero de 2015].

Solo dos canales de sonido (estéreo) pueden ser transmitidos en OneSeg, en contraste con los seis canales del sistema de audio envolvente que pueden transmitirse en el resto de los 12 segmentos para los receptores fijos. La transmisión simultánea de dos idiomas también es posible. Los principales parámetros de transmisión de OneSeg se muestran en la tabla X. La mayor tasa de codificación convolucional junto a la robusta modulación QPSK, hacen posible una buena calidad de recepción incluso cuando el receptor se encuentra en movimiento. La señal de OneSeg puede recibirse no solo en teléfonos móviles sino también en televisores portátiles, consolas de juego portátiles y computadoras personales.

Tabla X. **Parámetros de transmisión de OneSeg**

Sistema de modulación	OFDM
Códec de video	H.264/AVC
Resolución	320X180 320X240
Razón de aspecto	16:9 4:3
Taza de cuadros	15 cuadros/seg
Formato contenedor/códec de audio	Mpeg2/AAC
Tasa de transmisión total	312 Kbit/seg
Transmisión de video	128-180 Kbit/seg
Transmisión de audio	48-64 Kbit/seg
Transmisión de datos	50-60 Kbit/seg

Fuente: *Televisión Digital Al Alcance de Todos Una introducción simple al estándar japonés ISDB-T y a las telecomunicaciones modernas.* [Consulta: 12 de febrero de 2015].

CONCLUSIONES

1. Analizar los conceptos generales permite concluir la transición de la televisión analógica a digital, así como un mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico, proporcionando mayor calidad en sonido e imagen
2. En la actualidad, las plataformas de televisión digital utilizadas en Guatemala son las de televisión por cable, satelital e IPTV.
3. La tecnología basada en el estándar ISDB-T, tiene mejores prestaciones y características, que los otros estándares.
4. El sistema ISDB-T es gratuito (recepción libre), tiene alta robustez, mayor flexibilidad de aplicaciones, es inmune al ruido y su confiabilidad para recepción fija y móvil es alta.
5. Tras el Acuerdo Gubernativo 226-2013, la Superintendencia de Telecomunicaciones (SIT), establecerá cuándo comienza el proceso de sustitución de sistemas analógicos a sistema digital terrestre.
6. El estudio y análisis que la SIT ha realizado, ayuda a concluir que el sistema de televisión digital brasileño, técnicamente es viable, porque cumple con los parámetros necesarios para la transmisión y recepción de la señal.

7. La potencia de emisión en la televisión digital se reduce entre 50 y 75 %, para obtener la misma cobertura que un canal analógico.
8. La implementación del estándar brasileño en otros países sudamericanos, muestra la confiabilidad de sus servicios y prestaciones.
9. Con la transmisión digital, los receptores se convierten en terminales activos, adquiriendo características bidireccionales, permitiendo de esta manera que el televidente interactúe.
10. Los componentes para la transmisión de la señal digital de televisión necesitan ser cambiados o modificados para poder transmitir las señales digitales y analógicas al mismo tiempo.
11. Los componentes para la recepción necesitan ser reemplazados o utilizar un adaptador para la recepción de la señal de televisión digital terrestre como la analógica.

RECOMENDACIONES

1. Que las emisoras de televisión tomen en cuenta la capacitación de su personal técnico, en el tema de televisión digital terrestre para crear en él, competencias en el ámbito tecnológico.
2. Que las emisoras de televisión consideren que, para implementar la plataforma de televisión digital terrestre, necesitará realizar pruebas sobre una banda diferente o en horarios donde no afecte al televidente.
3. Es importante que el ente regulador SIT realice con responsabilidad el cronograma de transición en forma equitativa y transparente, garantizando que la televisión abierta sea gratuita y continúe brindando su servicio en forma masiva y popular.
4. Es importante que las autoridades de Guatemala asignen espacio en el espectro radioeléctrico, a las emisoras de televisión, para que puedan realizar pruebas en el momento de la transición a digital.
5. Es necesario que las emisoras de televisión cambien o actualizar equipos en las estaciones repetidoras, sobre todo en los equipos amplificadores.
6. Es importante que los televidentes adquieran receptores o adaptadores para recibir la señal de televisión.

BIBLIOGRAFÍA

1. BLAKE, Roy. *Sistemas electrónicos de comunicaciones*. México: Thompson, 2004. 105 p.
2. Compilación de Artículos Publicados en la Web. *Historia de la televisión*. [en línea]. <http://www.portalmix.com/tv/invento_tv.shtml>. [Consulta: 12 de febrero de 2015].
3. *Estándares Internacionales de televisión y HDTV/DTV*. [en línea]. <<http://www.cybercollege.com/span/tpv009.htm>>. [Consulta: 12 de febrero de 2015].
4. GROB, Bernard. *Televisión practica y sistemas de video*. Barcelona: Alfaomega, 1992. 142 p.
5. HERRERA PÉREZ, Enrique. *Introducción a las telecomunicaciones modernas*. Mexico: Limusa, 2003. 81 p.
6. *La instalación de la televisión por cable*. [en línea]. <<http://html.rincondelvago.com/television-por-cable.html>>. [Consulta 12 de febrero de 2015].
7. LOYOLA ARROYO, Luis A. *Televisión digital al alcance de todos una introducción simple al estándar japonés ISDB-T y a las telecomunicaciones modernas*. España: Bubok.es, 2011. 111 p.

8. *Nueva señal de televisión digital*. [en línea]. <[http://www. foros deelectronica.com/f20/nueva-senal-tv-digital-atsc-15028/](http://www.forosdeelectronica.com/f20/nueva-senal-tv-digital-atsc-15028/)>.
[Consulta: 7 de febrero de 2015].
9. PERALES BENITO, Tomás. *Radio y televisión digitales*. España: Creaciones Copyright, 2004. 95 p.
10. PROAKIS, John G.; MANOLAKIS, Dimitris G. *Tratamiento digital de señales*. Madrid: Prentice Hall, 1998. 120 p.
11. RAMOS PASCUAL, Francisco. *Radiocomunicaciones*. Marcombo, México: Ediciones Técnicas, 2007. 87 p.

