



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

SISTEMA DE TELEVISIÓN DIGITAL Y SU FUTURA IMPLEMENTACIÓN EN GUATEMALA

Freddy Manolo Guzmán Orellana
Asesorado por la Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota

Guatemala, octubre de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SISTEMA DE TELEVISIÓN DIGITAL Y SU FUTURA IMPLEMENTACIÓN
EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

FREDDY MANOLO GUZMÁN ORELLANA
ASESORADO POR LA INGENIERA INGRID RODRÍGUEZ DE LOUKOTA
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Davila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vaidez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Peñate
EXAMINADOR	Ing. Byron Idilio Arrivillaga Méndez
EXAMINADOR	Ing. Erwin Efraín Segura Castellanos
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vaidez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**SISTEMA DE TELEVISIÓN DIGITAL Y SU FUTURA IMPLEMENTACIÓN EN
GUATEMALA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 7 de febrero de 2006.



Handwritten signature of Freddy Manolo Guzmán Orellana, consisting of a large circular loop and several intersecting lines.

Freddy Manolo Guzmán Orellana

Guatemala 12 de septiembre del 2007

Ingeniero
Julio César Solares Peñate
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Estimado Ingeniero Solares.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado: **“Sistema de televisión digital y su futura implementación en Guatemala”**, del señor Freddy Manolo Guzmán Orellana, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

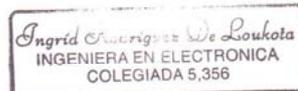
Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesora, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,



Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota
Colegiada 5,356
Asesora



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, 2 de OCTUBRE 2007.

Señor Director
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
Sistema de televisión digital y su futura implementación en Guatemala,
desarrollado por el estudiante; Freddy Manolo Guzmán Orellana, por
considerar que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador Área de Electrónica



JCSP/sro

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

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; Freddy Manolo Guzmán Orellana, titulado: **Sistema de televisión digital y su futura implementación en Guatemala**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Mario Renato Escobedo Martínez

DIRECTOR



GUATEMALA, 3 DE OCTUBRE 2,007.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG. 404.2007

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: **SISTEMA DE TELEVISIÓN DIGITAL Y SU FUTURA IMPLEMENTACIÓN EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Freddy Manolo Guzmán Orellana**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, octubre de 2007



/gdech

DEDICATORIA A

Dios	Quien diseñó, construyó y administra este maravilloso universo. Bendito y alabado sea su nombre.
Mis padres	Reginaldo Guzmán (que en paz descansa) y María Isabel Orellana, quienes con su ejemplo y consejos me enseñaron sobre el trabajo, la honradez y el esfuerzo. Y sin cuyo apoyo no me hubiese sido posible alcanzar esta meta.
Mis hermanos	Ronald e Ileana, por estar a mi lado en las buenas y en las malas, alentándome siempre a seguir adelante.
Mis sobrinos	Rodrigo y María Regina, cuyas sonrisas y muestras de afecto brindan nuevas fuerzas para cada día.
Mis amigos	Axel Rodas y Pamela Vega, junto a quienes afronté este reto.

Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota, por

su apoyo y esfuerzo.

Nuestro pueblo, quien a través de la Universidad de San Carlos de Guatemala, nos brinda la oportunidad de tener acceso a educación superior.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. FORMATO ACTUAL UTILIZADO EN TV NACIONAL	1
1.1 Televisión analógica	1
1.2 Televisión a color	3
1.2.1 Colorimetría	4
1.2.2 Señal de luminancia	7
1.2.3 Señal de crominancia	8
1.3 Video compuesto	9
1.4 Sistema NTSC	10
1.5 Señal de sonido	19
2. PROCESAMIENTO DIGITAL	23
2.1 Fundamentos de video digital	23
2.1.1 Muestreo de la señal	24
2.1.2 Cuantización de los valores muestreados	28
2.1.3 Error de cuantización	28
2.1.4 Codificación digital de la señal análoga	31
2.1.4.1 Codificación de la señal compuesta	31
2.1.4.2 Codificación de componentes	33
2.1.5 Conversión D/A	34
2.1.6 Estándares digitales	34
2.1.7 Estándar $4f_{sc}$ NTSC	35
2.1.8 Razones de muestreo	38
2.1.9 Multiplexión por división de tiempo de video	40

2.2 Fundamentos de audio digital	40
2.2.1 Conversión A/D de las señales de audio	41
2.2.2 Muestreo y cuantización de la señal de sonido	41
2.2.3 Principios de conversión D/A	44
2.2.4 Estructura del protocolo AES/EBU	45
2.2.5 Implementación de la interfaz de audio digital	46
2.3 Codificación de canal	46
2.3.1 Teorema de Shannon	47
2.3.2 Tipos de codificación de canal	47
2.3.2.1 Código NRZ	47
2.3.2.2 Código NRZ invertido (NRZI)	48
2.3.2.3 Codificación bifásica (BMC)	48
2.4 Distribución serial y multiplexación de datos	49
3. COMPRESIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE SEÑALES DIGITALES	53
3.1 Concepto de video BRR	53
3.1.1 Redundancia en video y entropía	53
3.1.1.1 Redundancia estadística	54
3.1.1.2 Redundancia psicovisual	54
3.1.1.3 Entropía	54
3.2 Técnicas de reducción de datos	55
3.3 Proceso de codificación DCT	57
3.4 Representación del color	63
3.5 Estándares de compresión de video	64
3.5.1 JPEG	62
3.5.2 MPEG-1	63
3.5.3 MPEG-2	64
3.5.3.1 Principios de codificación	64
3.5.3.2 Sincronización entre secuencias elementales	71
3.5.3.3 Errores	72
3.5.3.4 Corrección y silenciamiento de errores	72

3.6	Concepto de audio BRR	76
3.7	Técnicas de reducción de datos de audio	76
3.8	Estándares de compresión de audio	77
3.8.1	Subsistema de audio MPEG-1	77
3.8.2	Subsistema de audio MPEG-2	78
4.	TELEVISIÓN AVANZADA	79
4.1	Razones para cambiar de NTSC a DTV	81
4.2	Estandarización	82
4.2.1	Estándar para producción CCIR 601	87
4.3	Surgimiento de la ATV	88
4.4	Solución digital	89
4.4.1	Inter-operabilidad	89
4.4.2	Flexibilidad	90
4.4.3	Compresión	91
4.4.4	Escaneo de imagen	91
4.4.5	Relación de aspecto de imagen y de píxel	92
4.4.6	Apertura de producción y apertura limpia	94
4.4.7	Consideraciones de audio	95
4.4.8	Compatibilidad con los programas originales	96
4.5	Sistema Gran Alianza	96
4.5.1	Codificación y compresión de video	97
4.5.2	Formatos de pantalla	99
4.5.3	Sistema de audio	99
4.5.4	Canal de datos complementarios	102
4.5.5	Multiplexación y transporte	103
4.5.6	Transmisión RF	104
4.5.7	Receptor	105
4.5.7.1	Características de receptor	106

4.6 Distribución Primaria	107
4.6.1 Redes, protocolos y transferencia	107
4.6.1.1 Redes	109
4.6.1.1.1 Redes de Área Local (LAN)	109
4.6.1.1.2 Redes de Área Amplia (WAN)	109
4.6.1.1.3 Protocolos de transmisión	110
4.6.1.1.4 Protocolo asíncrono	110
4.6.1.1.5 Protocolo plesiocrono	111
4.6.1.1.6 Protocolo síncrono	111
4.6.2 Transferencia de archivos	111
4.6.3 Plataformas de distribución	111
4.6.3.1 PDH	113
4.6.3.2 SDH	114
4.6.3.3 ADSL	115
4.6.3.4 DTV terrestre (TDT)	116
4.6.3.5 Enlaces de micro-onda	117
4.6.3.6 Enlaces satelitales	117
4.6.3.7 Distribución por cable	118
5. TRANSICIÓN A TELEVISIÓN DIGITAL	119
5.1 Beneficios de la Televisión Terrenal Digital	119
5.2 Objetivos amplios de la radiodifusión DTV	121
5.2.1 Mejor calidad técnica	121
5.2.2 Mayor calidad y variedad de servicios	121
5.2.3 Nuevos servicios de información	122
5.2.4 Portabilidad	122
5.2.5 La eficiencia y recuperación del espectro	123
5.2.6 El desarrollo y crecimiento económico	123
5.3 Aspectos Técnicos en la implementación	123
5.3.1 Infraestructura de transmisión y recepción	124
5.3.2 Equipos receptores de usuario	126
5.3.3 Convertidores DTV estándar	127

5.3.3.1 Características en un <i>set-top box</i>	128
5.3.3.2 Algunos proveedores de STBs	129
5.4 Repercusiones que tendrá el cambio a DTV	129
5.5 Estimación financiera	130
5.6 Planificación del espectro	131
5.6.1 Experiencia de Brasil	132
5.6.1.1 Planificación de canales DTV	133
5.6.1.2 Parámetros de planificación	133
5.6.1.2.1 Recepción exterior	133
5.6.1.2.2 Recepción interior	134
5.6.1.2.3 Relaciones de protección	135
5.6.1.2.4 Requisitos de colocación	135
5.6.1.2.5 Norma para antena exterior	136
5.6.1.2.6 Estimación de la cobertura	136
5.7 Experiencia de México	137
5.7.1 Antecedentes	137
5.7.2 Elementos para la selección	138
5.7.3 Características generales de la política	138
5.8 Situación en Guatemala	142
CONCLUSIONES	145
RECOMENDACIONES	147
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149
BIBLIOGRAFÍA	151

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Barrido entrelazado	2
2. Lugar geométrico de Planck bidimensional	6
3. Diagrama fasorial de relaciones de fase de crominancia	9
4. Ancho de banda del sistema NTSC	12
5. Ejemplo de circuito como matriz para formar la señal Y	14
6 Diagrama de bloques de un codificador de NTSC	15
7. La amplitud instantánea de la subportadora	16
8. Diagrama de bloques simplificado de un receptor NTSC	17
9. Forma de onda de las barras estándar de 75% de color	18
10. Espectro compuesto de audio MTS para televisión estéreo	21
11. Procesamiento digital de las señales de audio o video	24
12. Muestreo de una señal análoga utilizando un tren de impulsos	25
13. Banda base de la señal de video	26
14. Espectro de la señal de video al muestrearse a Nyquist	26
15. Espectro de la señal de video mostrando <i>aliasing</i>	27
16. Error de cuantización	29
17. Codificación de la señal compuesta	32
18. Transición de análogo a digital de las señales compuestas	32
19. Codificación de componentes	33
20. Forma de onda de la salida de un convertidor D/A	34
21. Muestreo para $4f_{SC}$ NTSC	36
22. a) Muestreo del estándar de pos-producción 4:2:2	39
b) Muestreo 4:1:1	39
23. Convertidor de digital a analógico (DAC)	44
24. Representación de códigos de canal NRZ y NRZI	48

25. Representación en código BMC	49
26. Modelo de distribución de video en forma serial	50
27. Espectro de formato de transmisión <i>bit-serial</i>	51
28. Resumen de los esquemas JPEG y MPEG	57
29. DCT de una dimensión	61
30. Ejemplo de formación del bloque DCT 8X8	62
31. Relación entre tipos de trama	67
32. Componentes de MPEG GOP	69
33. Modelo de OSI de capas y sistema ATSC	90
34. Relación de aspecto de imagen y relación de imagen	93
35. Producción de apertura y producción limpia	95
36. Formato y codificación de video	98
37. Comparación de sistemas de audio NTSC y ATSC	100
38. Trama de la cadena de <i>bits</i> de AC-3	101
39. Diagrama de bloques para un codificador AC-3	102
40. Multiplexación de cadenas de datos de audio y video	103
41. Implementación típica de un transmisor VSB	105
42. Receptor ATSC típico	106
43. Modelo OSI y estructura SMTE	108
44. Modelo de interconexión y distribución	112
45. Ejemplo de infraestructura de transmisión de TV	125
46. Diagrama de transmisores analógico y digital	126
47. Tratamiento de la señal por el <i>Set-top box</i>	127

TABLAS

I. Resumen de las características del sistema NTSC	10
II. Valores para 8 y 10 bits de resolución para $4f_{SC}$ NTSC	37
III. Características básicas de los formatos ATSC y la NTSC	84
IV. Las resoluciones de los formatos SDTV y HDTV	85
V. Características básicas de los formatos DVB y PAL	86
VI. Resoluciones de los formatos digitales DVB	86
VII. Características del ATSC	97
VIII. Estimación financiera	131
IX. Intensidad de campo mínima para recepción exterior	134
X. Intensidad de campo mínima para recepción interior	134
XI. Relaciones de protección	135
XII. Requisitos de colocación	136
XIII. Estimación de la cobertura y la interferencia	137

GLOSARIO

Algoritmo	Conjunto de instrucciones o pasos que sirven para ejecutar una tarea o resolver un problema.
Amplificador operacional	Circuito electrónico, normalmente se presenta como circuito integrado, que tiene dos entradas y una salida. El valor de la señal de salida depende de la diferencia entre las dos entradas.
Ancho de banda	Rango de frecuencias donde se encuentra concentrada la mayor cantidad de energía de la señal. Capacidad máxima de transmisión. Se mide en <i>Hertz</i> o en <i>bits</i> sobre segundo.
Aliasing	Efecto no deseado que causa que señales distintas se tornen indistinguibles cuando se les muestrea digitalmente.
Armónico	Componente sinusoidal de una señal cuya frecuencia es un múltiplo de la frecuencia fundamental.
Asíncrono	Transmisión no relacionada con ningún tipo de sincronización temporal entre el emisor y el receptor.
ATM	Transferencia de modo asíncrono.

Bit	Del inglés <i>binary digit</i> , dígito binario. Unidad mínima de información, puede tener dos estados "0" o "1".
Campo	Conjunto de líneas pares o impares en barrido entrelazado.
Circuito PLL	Sistema realimentado cuyo objetivo es compensar las variaciones de frecuencia que pueden darse en las transmisiones.
Codificador	Dispositivo que recibe información por su entrada y la traduce, de tal forma, que para cada símbolo de entrada existe un único símbolo en la salida.
Colorimetría	Estudio de los aspectos cuantificables y mensurables del color.
Cuantizador	Sistema que tiene a su entrada una señal continua o analógica, y que genera a su salida una versión aproximada de la señal de entrada, representando la señal por medio de algunos valores discretos.
DC	Del inglés, <i>direct current</i> , corriente directa.

Decibel	Unidad adimensional empleada para expresar la relación entre dos potencias.
Decimal	Sistema de numeración en base 10, el que usamos habitualmente.
Distorsión armónica	Distorsión debida a las características de no linealidad de un elemento de un sistema de transmisión, y que se traduce en la aparición de componentes parásitos de frecuencias armónicas,
Escaneo	Proceso de lectura de alguna imagen o serie de datos.
Fase	Posición relativa entre un pico o valle de la forma de onda de una señal, con respecto a otra señal tomada como referencia.
Filtro	Circuito selectivo, que permite el paso de ciertas frecuencias, mientras bloquea las restantes.
Formato	Conjunto de reglas mediante las cuales se pueden organizar datos.
Gbps	Abreviatura de <i>giga bits</i> por segundo. Equivale a mil millones de <i>bits</i> por segundo.

Hertz	Unidad de frecuencia igual a un ciclo por segundo.
Hexadecimal	Sistema de numeración en base 16.
Impedancia	Oposición de un circuito al paso de una corriente alterna.
Interfaz	Sistema que permite la correcta conexión entre dos partes.
Inter-operabilidad	Capacidad de acceder e interactuar con múltiples sistemas diferentes.
IP	Protocolo de <i>Internet</i>
LAN	Del inglés, <i>Local Area Network</i> , red de área local,
Luminancia	Componente de brillo o de blanco y negro de una imagen.
Matiz	Característica que distingue un color de otro.
Micro-onda	Ondas electromagnéticas en el espectro de frecuencias comprendido aproximadamente entre 300 MHz y 300 GHz.
Modem	Nombre abreviado de modulador-demodulador. Aparato que modula y demodula señales digitales para poder utilizar una línea de transmisión analógica.

Modulación	Modificación de alguno de los parámetros de una onda eléctrica llamada portadora, tales como amplitud, frecuencia o fase, por una señal moduladora que se quiere transmitir.
Monofónico	Sistema de sonido que utiliza sólo un canal.
Muestreo	Cuantificación periódica del valor de una señal continua, para así obtener una copia de la señal pero hecha de valores discretos separados por lapsos de tiempo determinado.
<i>Multiplexion</i>	Transmisión simultánea de múltiples señales en un sólo canal de comunicaciones.
Ohms	El ohm es la unidad de resistencia eléctrica en el Sistema Internacional de Unidades.
<i>Píxel</i>	Menor unidad en la que se descompone una imagen digital.
Portadora	Señal de frecuencia relativamente alta, la cual es modulada en proporción a la señal de banda base.
Procesador	Componente lógico de un sistema de computación que interpreta y ejecuta instrucciones de programas.

Protocolo	Conjunto de reglas que controlan la secuencia de mensajes que ocurren durante una comunicación entre dos equipos.
RF	Radio Frecuencia.
Ruido	Señal no deseada, cuyo comportamiento es aleatorio.
Voltio	Unidad derivada del SI para el potencial eléctrico, fuerza electromotriz y el voltaje.
WAN	Red de Área Extendida.

RESUMEN

En lo que a televisión se refiere, en nuestro país se utiliza principalmente el sistema norteamericano de televisión NTSC, el cual en un futuro próximo será reemplazado por un sistema de televisión digital basado en el estándar del Comité para el Sistema de Televisión Avanzada (ATSC, del inglés, *Advanced Television System Committee*). Los radiodifusores podrán elegir entre ofrecer el sistema DTV (del inglés, *Digital Televisión*) o el sistema HDTV (del inglés, *High Definition Television*).

Se han realizado grandes esfuerzos por alcanzar un estándar mundial. Sin embargo, surgieron diferencias técnicas y políticas que hicieron que el sueño de un sistema único y universal se desvaneciera, por esta razón existen, básicamente, tres estándares: ATSC de Estados Unidos, DVB-T en Europa y el ISDB-T en El Japón

La televisión digital utiliza procesamiento digital y compresión de datos para permitir una transmisión simultánea de varios programas diferentes en el caso de DTV, mientras que en HDTV se pueden ofrecer imágenes de muy alta calidad, ambos utilizando el ancho de banda actual de seis MHz por canal.

Los sistemas de compresión de información se basan en las características auditivas y psicovisuales del ser humano, eliminando los datos innecesarios de las señales de audio y video.

El gran inconveniente que presenta el cambio a Televisión Digital es la necesidad del cambio de la infraestructura actual, incluyendo los receptores que tienen los usuarios en sus hogares, obligando a que el cambio se realice paulatinamente, haciendo que las empresas emisoras empiecen a transmitir en forma analógica y digital simultáneamente.

OBJETIVOS

General

- Conocer el sistema de televisión digital.

Específicos

1. Describir el sistema NTSC.
2. Familiarizarse con el procesamiento digital utilizado en audio y video.
3. Establecer cuáles son los estándares digitales utilizados.
4. Conocer las técnicas de compresión de audio y video.
5. Describir las características de la televisión avanzada.
6. Indicar lo necesario para la transición a televisión digital.

INTRODUCCIÓN

Desde la aparición de los receptores de televisión electrónicos en la década de 1930, la evolución tecnológica ha llevado de las pequeñas pantallas de blanco y negro a las pantallas de sistemas tales como el teatro en casa, pero existen límites debidos a las normas de NTSC. El cambio más importante de la teledifusión desde el surgimiento de la televisión a color, es la televisión “digital”, con la cual se tendrán que realizar muchos cambios drásticos, tanto con los equipos receptores que tenemos en nuestras casas, como los equipos utilizados para edición y transmisión por parte de los distribuidores locales, así como también con la forma en la que se interconectan los estudios y estaciones entre sí. En televisión digital se pueden ofrecer los servicios de DTV y de HDTV. La DTV permite un mejor aprovechamiento de ancho de banda, gracias a la compresión, por lo que los difusores podrán transmitir más programas en el ancho de banda que tienen asignado a seis MHz, mientras que HDTV aprovecha la compresión para ofrecer muy alta calidad de video dentro del ancho de banda de seis MHz.

La Televisión Digital tiene varias ventajas, que incluyen imágenes de alta resolución, sonido multicanal 5.1, buena relación señal a ruido, almacenamiento y edición en computadora, ancho de banda más estrecho en relación con su resolución, además puede ofrecer interacción del usuario final si se tiene un canal de retorno, como *Internet* por ejemplo.

El presente trabajo se realizó con el fin de conocer el sistema de televisión digital, tanto en forma teórica como práctica, dado que en un futuro próximo deberá ser implementado en Guatemala.

1. FORMATO ACTUAL UTILIZADO EN TV NACIONAL

1.1 Televisión Analógica

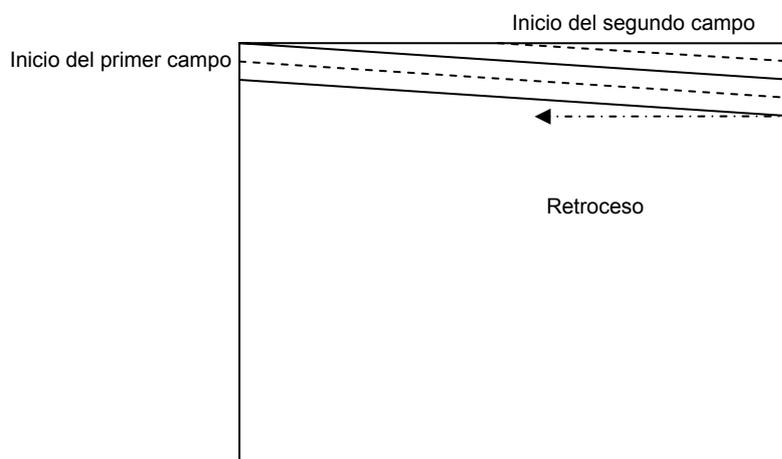
El objetivo de la televisión, como su nombre sugiere, es lograr presentar una imagen a un espectador que no se encuentra en el lugar donde ésta se genera. Esto presenta un problema, necesitamos transmitir información bidimensional (imagen) por medio de una sistema unidimensional (tiempo), esto se resuelve utilizando alguna técnica de barrido. En televisión, cada imagen se divide en 525 líneas y se recorre línea por línea. El tiempo que se utiliza para el barrido completo de una imagen es de 1/30 de segundo para que la interferencia de la línea de alimentación parezca estacionaria y, por tanto, mucho menos notables en la pantalla. Cada imagen completa se llama cuadro.

Aunque el ojo humano interpreta como movimiento continuo secuencias de imágenes a razón de 15 cuadros por segundo o más, hay cierta vibración perceptible hasta que se usan velocidades de cerca de 40 cuadros por segundo. Para eliminar la vibración se envían líneas alternadas a razón de 60 de éstos por segundo. Ésto se conoce como barrido entrelazado. El barrido empieza arriba a la izquierda y se efectúa de izquierda a derecha, retrocediendo rápidamente tras cada barrido y el lento barrido vertical produce cierta inclinación de las líneas. Esto se repite hasta la parte baja de la pantalla, donde sólo se recorre media línea. Se han barrido ahora 262.5 líneas ($525/2$), y esto se llama campo. El tiempo de barrido de un campo es de 1/60 de segundo, por lo que la frecuencia horizontal de barrido es de $262.5 \times 60 = 15750$ Hertz (Hz).

Al final del campo, el haz del tubo de rayos catódicos (CRT, del inglés *Cathode Ray Tube*) retrocede con rapidez hacia arriba, hasta alcanzar el centro superior de la pantalla. El haz se apaga durante los retrocesos horizontal y vertical, por lo que no se ve en la pantalla.

A continuación, el haz repite el barrido horizontal a razón de 15.75 *kilohertz* (kHz) con un lento movimiento hacia abajo a una tasa de barrido vertical de 60 Hz, hasta alcanzar la esquina inferior derecha de la pantalla, y se reinicia el retroceso vertical. Los dos campos totalizan 525 líneas entrelazadas para formar la imagen completa (el cuadro).

Figura 1. Barrido entrelazado



El esquema de líneas usado para cada cuadro se llama trama. Aunque el tamaño de la trama depende del receptor en particular (dado usualmente como una medida diagonal), las dimensiones relativas ancho-altura, conocidas como razón de aspecto, se normalizan en 4:3.

Con esta razón de aspecto de 4:3, la imagen completa puede considerarse como un arreglo de 700*525 puntos de intensidad variable. Por tanto, hay un máximo de $700 \cdot 525 \cdot 30 = 11025000$ elementos de imagen para enviar cada segundo. Según el criterio de que el tiempo de elevación del sistema debe igualar a un elemento de imagen, el ancho de banda de un sistema de respuesta tipo RC:

$$B \approx 0.35 / tr = 0.35 / 11025000 = 3.86 \text{ MHz} \quad 1.1.1$$

En la práctica, un ancho de banda de 4 MHz se considera adecuado.

La información de video para televisión se transmite usando modulación de amplitud de gran portadora. Entonces, la doble banda lateral necesita 8 MHz por canal para el video. Sin embargo, las asignaciones de un ancho de 6 MHz para estaciones experimentales desde 1936 tienden a restringir los anchos de banda a estos límites. Para resolver la dificultad que presenta la restricción del ancho de banda a 6 MHz se usa una forma de banda lateral residual para transmitir la información de video.

1.2 Televisión a color

La televisión a color depende de las propiedades de la luz, las cuales controlan la sensación visual, conocidas como brillo, tinte y saturación.

- Brillo: característica de un color, que lo clasifica en una escala de oscuridad o claridad.
- Tinte: característica de un color, que lo describe en términos de algún color distinguible, como rojo, amarillo o azul.
- Saturación: es el grado de blanco, negro o gris que posee un color.

Virtualmente cualquier color puede crearse con la apropiada combinación de los tres colores primarios. Verde, azul y rojo han sido elegidos como los colores primarios para televisión.

En la forma más simple, el sistema de televisión a color consiste de tres sensores que reciben imágenes filtradas en verde, azul y rojo. Los tres sensores escanean las tres respectivas imágenes horizontal y verticalmente, en la manera convencional, y generan señales eléctricas para cada una de estas imágenes. Estas señales son transmitidas a tres CRT's los que excitan la pantalla, la cual posee triadas de puntos de fósforo, un punto para cada color.

1.2.1 Colorimetría

Los principios de colorimetría se basan en las leyes de Grassman. Estas leyes son las siguientes:

- El ojo puede distinguir solamente tres tipos de diferencias o variaciones.
- En una mezcla de dos componentes de luz, la mezcla de colores cambiara gradualmente si un componente cambia en forma estable y la otra permanece constante.
- Fuentes del mismo color producen idénticos efectos visuales en una mezcla a pesar de su composición espectral.
- La luminancia total del color es la suma de las luminancias de cada uno de los componentes.

En colorimetría moderna, los colores son representados en un sistema tridimensional de coordenadas (el espacio del color). Las coordenadas son designadas como X, Y, y Z y cada color posible ocupa una posición en el sistema tridimensional. El plano unitario de este sistema ($X + Y + Z = 1$) contiene todas las coordenadas de los varios colores. El área total cubierta por los colores es llamado espacio geométrico de Planck. Las coordenadas del color dependen de las características espectrales de la iluminación, al que el ojo humano responde, y el espectro de reflectancia del color observado.

Los valores XYZ de un color son definidos por las siguientes ecuaciones:

$$X = K \sum_{\lambda=300}^{700} \bar{x}(\lambda)C(\lambda)L(\lambda)\Delta(\lambda)$$

1.2.1.1

$$Y = K \sum_{\lambda=300}^{700} \bar{y}(\lambda) C(\lambda) L(\lambda) \Delta(\lambda) \quad 1.2.1.2$$

$$Z = K \sum_{\lambda=300}^{700} \bar{z}(\lambda) C(\lambda) L(\lambda) \Delta(\lambda) \quad 1.2.1.3$$

Donde K = un factor normalizador dado por

$$K = \frac{1}{\sum_{\lambda=300}^{700} L(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta(\lambda)} \quad 1.2.1.4$$

$L(\lambda)$ = Características del espectro de luz

$\Delta(\lambda)$ = Incremento de la longitud de onda, nm

$C(\lambda)$ = Características del espectro de color utilizado

$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ = Las características observadas del Standard 1931.

λ = Longitud de onda de la luz.

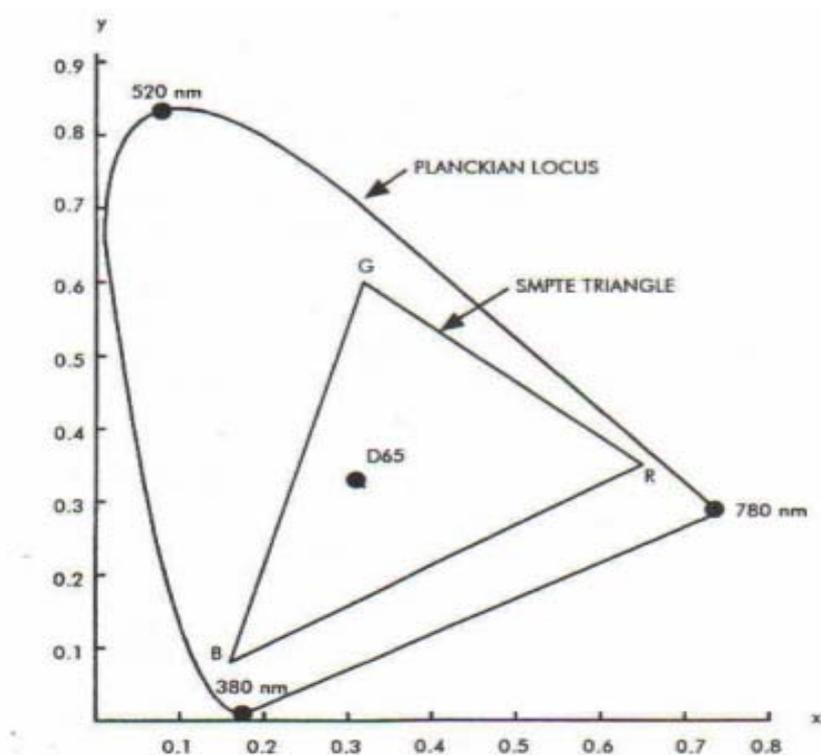
En la práctica, el sistema de coordenadas tridimensional es reemplazado por su proyección en plano XoY y es designado como el lugar geométrico de Planck del sistema de coordenadas x-y. Las ecuaciones de proyección son:

$$x = \frac{X}{(X + Y + Z)} \quad 1.2.1.5$$

$$y = \frac{Y}{(X + Y + Z)} \quad 1.2.1.6$$

En la figura 2 se muestra el lugar geométrico de Planck bidimensional, junto con el triángulo formado por la SMPTE (*Society of Motion Picture & Television Engineers*, Sociedad de Ingenieros de Imágenes en movimiento y televisión) y por EBU (*European Broadcast Union*, EBU, Union Europea de Radiodifusión). De esta forma los colores son representados por dos coordenadas, x y y .

Figura 2. Lugar geométrico de Planck bidimensional



Fuente: Michael Robin y Michel Poulin.

Digital Televisión Fundamentals.

Pàgina 39.

Como indican las leyes de Grassman, todos los colores visibles son localizados dentro, o en el borde del triángulo formado por las tres fuentes de luz. La televisión a color utiliza tres fuentes de luz en un CRT designado para los elementos de fósforo de verde, azul y rojo.

En el pasado coexistieron dos estándares conocidos como SMPTE, usado en Norte América, y EBU, usado en Europa. Actualmente, el SMPTE y EBU están normalizados a idénticos valores. Las coordenadas del estándar para equipo de fósforo son:

Verde: $x = 0.310$ $y = 0.595$

Azul: $x = 0.155$ $y = 0.070$

Rojo: $x = 0.630$ $y = 0.340$

El sistema de referencia blanco es referido como D6500, estandarizado por los siguientes valores de las coordenadas x-y :

$x = 0.3127$ $y = 0.3290$

1.2.2 Señal de luminancia

La compatibilidad con el equipo monocromático requiere la generación y transmisión de una señal que represente la componente de brillo en la escena. Esta componente es llamada *luminancia*. La componente de Y se forma por la suma de los tres colores primarios, R, G, B. Las señales de color resultantes se cuantifican en la misma proporción que la respuesta del ojo humano a las frecuencias de los colores primarios. La expresión matemática para la luminancia es

$$E'_Y = 0.587E'_G + 0.114E'_B + 0.229E'_R \quad 1.2.2.1$$

Donde E'_Y = es el valor de voltaje correspondiente a la luminancia.

E'_G = es el valor de voltaje correspondiente a la información verde.

E'_B = es el valor de voltaje correspondiente a la información azul.

E'_R = es el valor de voltaje correspondiente a la información roja.

1.2.3 Señal de crominancia

La información de crominancia es transportada por dos de las tres señales primarias menos la componente de luminancia. Estas señales son conocidas como las señales de diferencia de azul y rojo, las cuales son:

$$E'_B - E'_Y = -0.587E'_G + 0.889E'_B - 0.299E'_R \quad 1.2.3.1$$

y

$$E'_R - E'_Y = -0.587E'_G - 0.114E'_B + 0.701E'_R \quad 1.2.3.2$$

La señal $E'_G - E'_Y$ se puede producir con la combinación adecuada de las dos expresiones para las señales de diferencia para azul y rojo.

Estas señales de diferencia de color se transmiten usando multiplexión en cuadratura (DSB-SC) en una subportadora situada ω_s radianes sobre segundo (rad/s) por encima de la portadora de imagen. La señal de crominancia (diferencia de color) puede escribirse como:

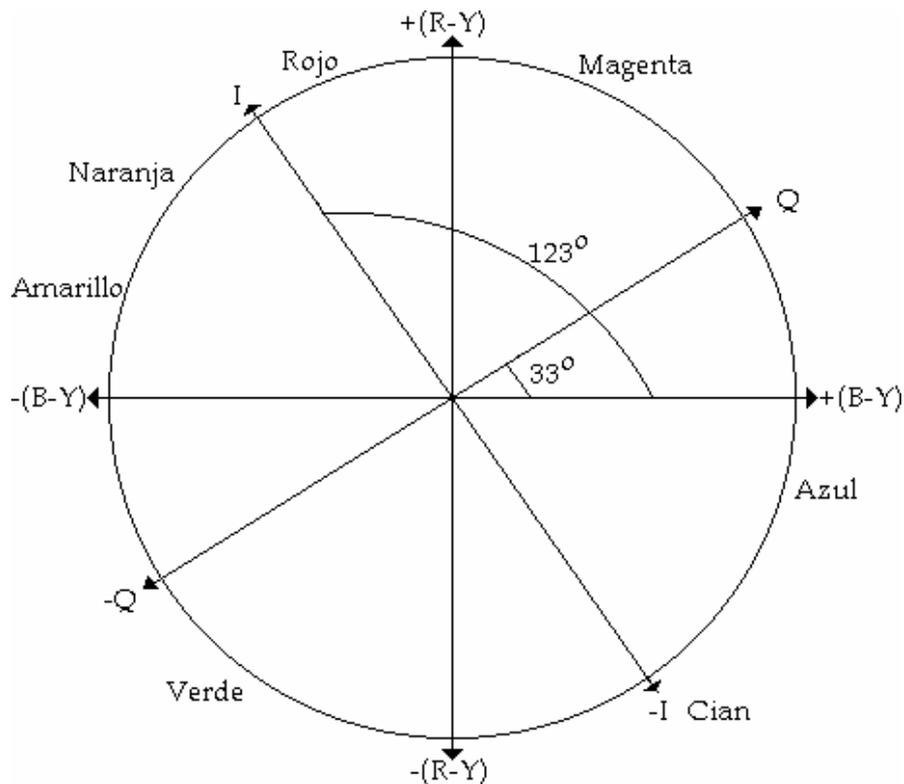
$$(E'_R - E'_Y)\text{Cos } \omega_s t + (E'_B - E'_Y)\text{Sen } \omega_s t \quad 1.2.3.3$$

Además puede representarse en forma fasorial. Expresando las diferencias de color en términos de magnitud y fase, se tiene:

$$\sqrt{(R-Y)^2 + (B-Y)^2} \text{Tan}^{-1}[(R-Y)/(B-Y)] \quad 1.2.3.4$$

Es de hacer notar que para la ecuación anterior la magnitud es una medida de la saturación del color y la fase es una medida del matiz, siendo posible construir un diagrama fasorial de las relaciones de fase a la frecuencia de la subportadora de color ω_s como se muestra en la figura 3.

Figura 3. Diagrama fasorial de relaciones de fase de crominancia.



En la práctica se puede obtener la representación anterior al alimentar la entrada horizontal de un osciloscopio con la señal E'_{B-Y} mientras la entrada vertical del osciloscopio se alimenta con la señal E'_{R-Y} .

1.3 Video Compuesto

El video compuesto describe una señal en la cual la información de luminancia, crominancia y sincronización es multiplexada en frecuencia, tiempo y amplitud, para ser transmitida por un único canal.

Existen varios sistemas para transmitir televisión a color, entre los que podemos mencionar los sistemas NTSC, PAL y SECAM, de los cuales el primero es el que se utiliza en nuestra región.

Estos sistemas poseen algunas características en común, por ejemplo, la compatibilidad monocromática y la multiplexación por división de frecuencia.

1.4 Sistema NTSC

En el sistema NTSC (del inglés, National Television System Comité. Comité para el Sistema de Televisión Nacional) para televisión a color, la información de luminancia, crominancia y sincronización es combinada para ser transmitida en una canal RF de 6 MHz originalmente especificado para transmisión monocromática. La información de crominancia es transmitida en los “agujeros” del espectro de la información monocromática. Este concepto utiliza una señal de banda ancha (4.2 MHz) para la luminancia, y dos señales de banda angosta para la crominancia.

Las características actuales de este sistema, como se definen en el estándar SMPTE 170M, son resumidas en la siguiente tabla

Tabla 1. Resumen de las características del sistema NTSC

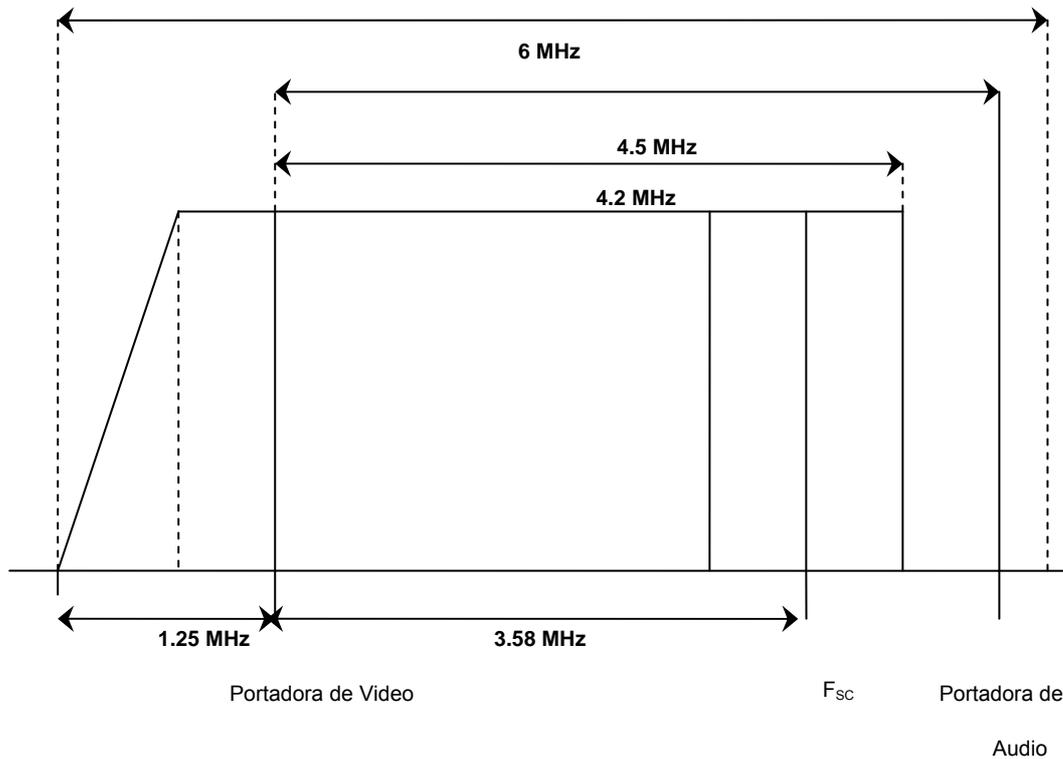
1.	Coordenadas de crominancia para los colores primarios en el receptor	Verde: $x = 0.310$ $y = 0.595$ Azul: $x = 0.155$ $y = 0.070$ Rojo: $x = 0.630$ $y = 0.340$
2.	Referencia de blanco D_{65}	$x = 0.3127$ $y = 0.3290$
3.	Señal de luminancia	$E'_Y = 0.587E'_G + 0.114E'_B + 0.229E'_R$
4.	Señales de crominancia	$E'_{B-Y} = 0.877(E'_B - E'_Y)$ y $E'_{R-Y} = 0.493(E'_R - E'_Y)$ o $E'_Q = E'_{B-Y} \cos 33^\circ + E'_{R-Y} \sin 33^\circ$ y $E'_I = -E'_{B-Y} \sin 33^\circ + E'_{R-Y} \cos 33^\circ$

- | | | |
|----|--|---|
| 5. | Ecuación completa de la señal de color | $E_M = 0.925E'_Y + 7.5$ $+ 0.925E'_{B-Y} \text{Sin}(2\pi f_{SC}t)$ $+ 0.925E'_{R-Y} \text{Cos}(2\pi f_{SC}t)$ |
| 6. | Tipo de modulación de la subportadora de crominancia | modulación de amplitud con portadora suprimida para las dos subportadoras en cuadratura. |
| 7. | Ancho de banda de las bandas laterales de color en kHz | $f_{SC} \pm 620$ |
| 8. | Amplitud de la subportadora de crominancia | $G = \sqrt{E'_{B-Y}{}^2 + E'_{R-Y}{}^2}$ |

El codificador procesa una señal de banda ancha para la señal de luminancia (monocromática) y dos señales de banda angosta, con el mismo ancho de banda, para la crominancia. Las señales de diferencia de color pueden ser B-Y y R-Y o bien I y Q, como indican las especificaciones originales de 1953 para NTSC. El ancho de banda para cada señal de diferencia de color puede ser de 600 KHz o 1.3 MHz, pero los receptores de televisión a color utilizan un ancho de banda de 600 KHz para la crominancia, por lo que el exceso de en el ancho de banda de la crominancia es desperdiciado.

En la figura 4 se muestra el ancho de banda para NTSC compuesto

Figura 4. Ancho de banda del sistema NTSC.



Cada una de las señales de diferencia de color modula una subportadora. Las dos subportadoras poseen la misma frecuencia, pero difieren en fase. La diferencia de fase entre las dos subportadoras es de 90° , para que las dos subportadoras puedan ser recobradas. Se utiliza modulación de amplitud con portadora suprimida. Por lo que el sistema de modulación es llamado modulación de amplitud en cuadratura con portadora suprimida. Dado que la subportadora es suprimida, solamente se obtienen las bandas laterales a la salida del modulador. Esto resulta en la completa cancelación de la señal de crominancia cuando no hay colores presentes.

La frecuencia de la subportadora de crominancia es un múltiplo impar de la mitad de la frecuencia de escaneo horizontal. Esto da como resultado la superposición de los espectros de luminancia y crominancia (*half-line offset*). La frecuencia de la subportadora es igual a

$$f_{sc} = \frac{455}{2} f_H = 3,579,545 \pm 10Hz \quad 1.4.1$$

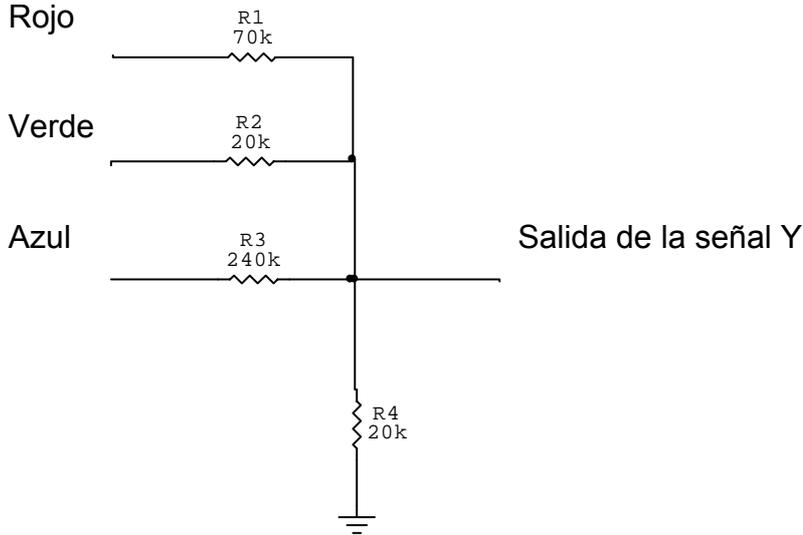
La amplitud de la subportadora esta 20 decibeles (dB) por debajo de las bandas laterales significativas. Normalmente la subportadora no debería ser visible.

Dado que se utiliza multiplexión en cuadratura es necesario tener una recepción de sincronía, tanto en fase como en frecuencia. Esto se consigue enviando un pulso de sincronización, el cual consta de 8 o 9 ciclos de la subportadora de color, conocido también como ráfaga de subportadora de color (*burst*). Los pulsos se envían durante el intervalo de borrado que sigue al pulso de sincronía horizontal (conocida como “parte posterior” o *back porch*). El propósito de esta señal es sincronizar oscilador de cristal del receptor. Este oscilador regenera la subportadora necesaria para poder demodular la señal y poder obtener las señales de diferencia de color. La fase del pulso de sincronización es 180° con respecto al sistema de referencia de fase ($E'_B - E'_Y$).

En la figura 5 se muestra un diagrama de bloques simplificado de un codificador NTSC que utiliza las señales de diferencia de color. Las señales verde, azul y rojo alimentan una matriz resistiva la cual tiene la función de combinar las señales de los colores primarios en forma algebraica y en la proporción adecuada, para formar la señal de luminancia (Y) y las dos señales de diferencia de color. Esto puede lograrse utilizando un circuito con tres divisores de voltaje con una resistencia en común. Cada divisor de voltaje establece las proporciones de las señales de entrada.

Cada señal de diferencia de color es limitada en banda antes de ingresar al modulador balanceado. Una subportadora de 3.58 MHz alimenta el modulador de B-Y, luego es desfasada 90° y alimenta el modulador de R-Y.

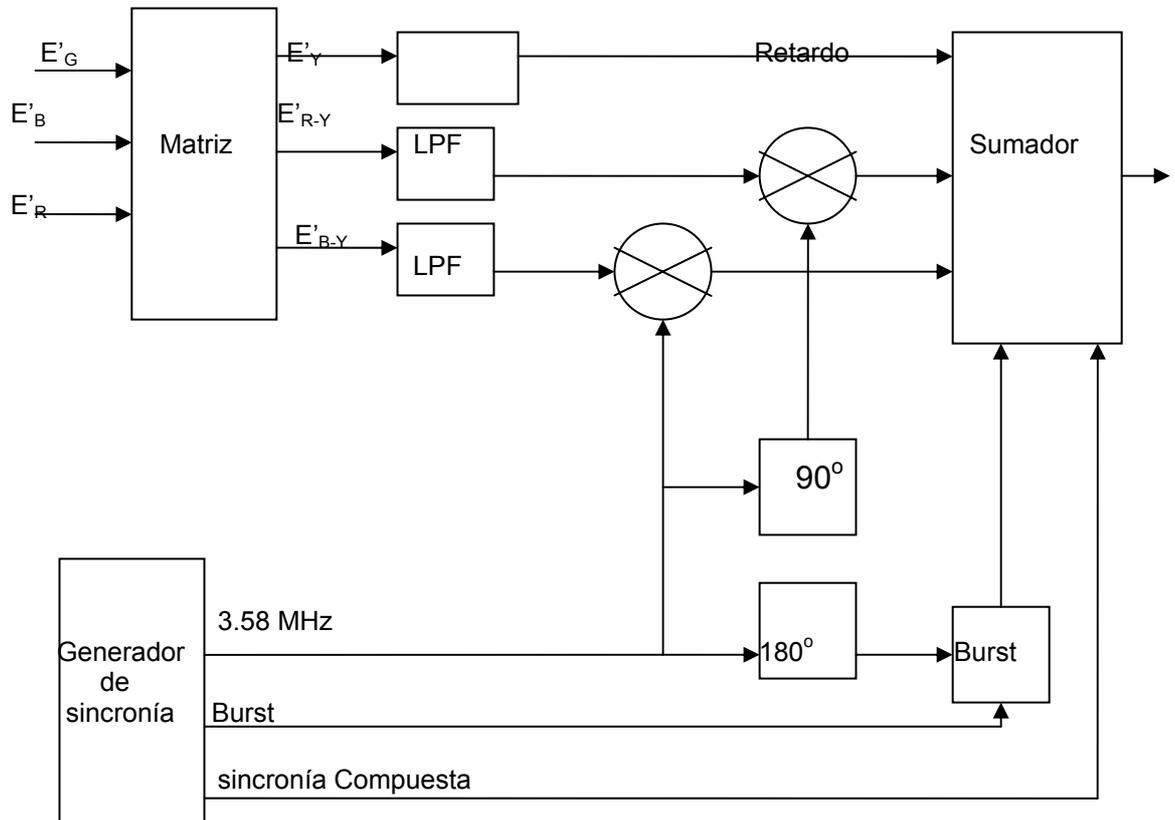
Figura 5. Ejemplo de circuito del divisor de voltaje resistivo utilizado como matriz para formar la señal Y.



La señal Y es retardada para compensar el retardo que se introduce en las señales de diferencia de color debido al filtro pasa bajas. Finalmente un sumador combina la señal de luminancia, las bandas laterales de crominancia, la sincronía compuesta, y la señal de sincronía de color la cual es desfasada 180°.

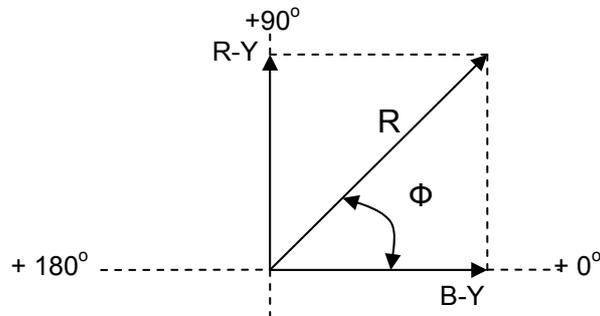
En lo que a equipo de interconexión se refiere, se utiliza cable coaxial no balanceado. La impedancia de la fuente, la impedancia Terminal y las características de impedancia del cable coaxial son de 75 ohms.

Figura 6 Diagrama de bloques de un codificador de NTSC B-Y/R-Y simplificado.



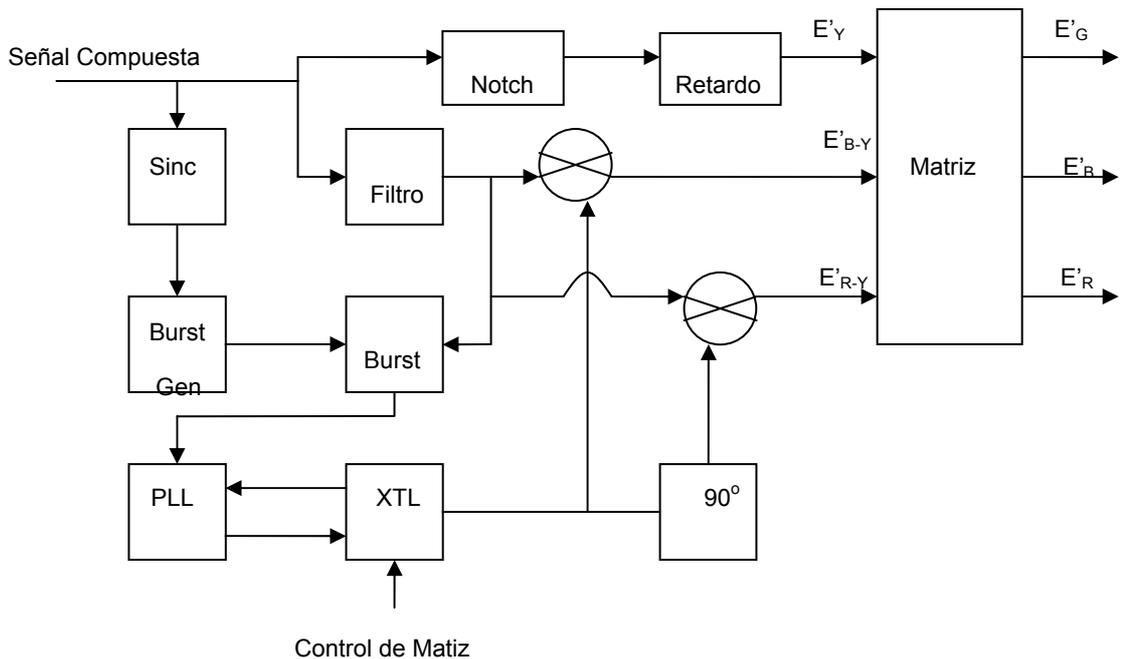
Para una mejor visualización se recurre a una representación vectorial del proceso de modulación de la subportadora de crominancia. Un color dado es descrito por los valores de E'_{B-Y} y E'_{R-Y} de las subportadoras moduladas en amplitud con una relación de fase en cuadratura la una de la otra. Con los valores instantáneos de las dos subportadoras moduladas se puede obtener un vector resultante descrito por su amplitud y ángulo de fase con respecto a la subportadora B-Y de referencia. Donde la amplitud del vector resultante representa la saturación del color y su fase representa el matiz.

Figura 7. La amplitud instantánea de la subportadora resulta en un vector cuya amplitud representa la saturación, y la fase representa el matiz.



Para la recepción las bandas laterales de crominancia son separadas a través de un filtro pasa bajas y alimentan a dos demoduladores sincronos. La señal de sincronización de subportadora de color es separada también y utilizada para la sincronía horizontal, esta salida sincroniza el oscilador local por medio de un PLL. El generador de subportadora alimenta el demodulador B-Y y después de ser desfasado 90° alimenta el demodulador de R-Y. Un ajuste de matiz permite el ajuste manual de la fase de la subportadora reconstruida con respecto de la señal de sincronía de subportadora de color, para poder obtener la correcta relación de fase. En el demodulador las señales de diferencia de color sufren un retardo respecto de la señal de luminancia, por lo que esta última debe ser retardada antes de que las tres señales se inyecten a la matriz que reconstruirá las tres señales primarias. Un filtro de muesca (del inglés, *notch-filter*) es utilizado para reducir la visibilidad de la subportadora. Cabe mencionar que uno de los principales problemas que sufre el sistema NTSC es su sensibilidad a la distorsión no lineal, lo que resulta en un cambio dinámico de la fase de la subportadora.

Figura 8. Diagrama de bloques simplificado de un receptor NTSC B-Y/R-Y.

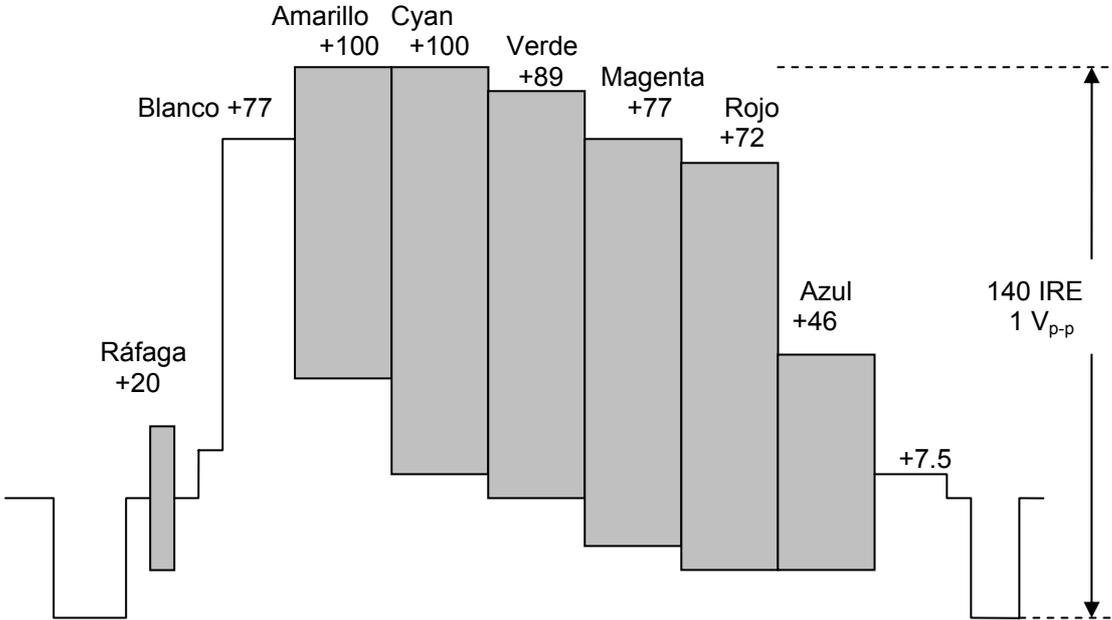


El valor pico-pico de la señal de luminancia junto con la señal de sincronización, medido desde el pico de la señal del nivel blanco es de 1 V. Los niveles de señal de video compuesto en el estándar 525/60 se expresa en unidades IRE (del ingles, *Institute of Radio Engineers* , Instituto de Ingenieros de Radio, ahora IEEE). Se dice que una señal de video compuesto con una amplitud pico-pico de 1 voltio tiene una amplitud de 140 unidades IRE de las cuales 100 unidades IRE se deben a la luminancia, y 40 IRE son por la señal de sincronía. El pico de nivel blanco es de 714.3 mV (100 IRE). El nivel de negro es normalmente 7.5% del pico de nivel de blanco (53.5 mV o 7.5 IRE) y el nivel de señal de sincronización es de 285.7 mV (40 IRE).

Para ajustes del equipo uno de los recursos más utilizados es la señal de barras. Un generador de barras de color produce señales repetibles y

precisas de barras verticales de color que se pueden utilizar para procesos de verificación y ajuste. Las señales están codificadas en la frecuencia subportadora de color de 3.58 MHz. La primera barra de la izquierda es blanca, luego le siguen las barras de amarillo, cyan, verde, magenta, rojo y azul en todo el ancho de la imagen. Esta secuencia fue elegida porque los valores de luminancia forman una curva decreciente escalonada de la señal Y. De los colores el amarillo tiene el valor más alto de luminancia 89%, que es igual a $0.59G + 0.30R$. En el extremo opuesto, el azul tiene la luminancia más baja, 11%. Los primeros generadores producían barras de color saturadas a 100%. Este valor significa que las señales R, G y B están en el codificador a 100% ($100/7.5$ $100/7.5$) del nivel para el máximo de blanco, o 100 unidades IRE, teniéndose un pico positivo de 130.8 IRE debido a los valores pico de la crominancia modulada lo que coloca una carga innecesaria en el equipo de transmisión. Por lo tanto, la señal estándar de barras de color se ha reducido a lo que se conoce como barras de color de 75% ($75/7.5$ $75/7.5$). Este porcentaje no significa 75% de saturación, sino simplemente que las amplitudes de las señales R, G y B tienen en el codificador 75 unidades IRE, en lugar de 100. Las barras de color resultantes están totalmente saturadas.

Figura 9. Forma de onda de las barras estándar de 75% de color (NTSC 75/7.5/75/7.5).



1.5 Señal de Sonido

En la radio comercial de FM la mayoría de las estaciones transmiten en estéreo. El método codifica el sonido en dos señales:

Izquierda + derecha o $L + R$

Izquierda – derecha o $L - R$

La señal $L+R$ corresponde al audio original, para la compatibilidad en los receptores monofónicos. La señal $L-R$ es la señal adicional necesaria para realzar el sonido con efecto estéreo.

En la transmisión, la señal $L+R$ modula la señal portadora principal. La señal $L - R$ modula una subportadora de 38 kHz, que se suprime para minimizar la interferencia. Se transmite un tono piloto de 19 kHz para que el receptor pueda regenerar la subportadora de 38 kHz. Luego los circuitos del procesamiento de estéreo pueden decodificar la información para proporcionar las señales de audio originales izquierda y derecha para los canales estéreo separados.

Se puede utilizar un método similar para el sonido estéreo en televisión. El sistema de sonido estéreo para TV, desarrollado por Zenith, se conoce como un sonido de televisión multicanal (MTS, *multichannel television sound*). Utiliza multiplexaje por división de frecuencia para transmitir una señal de estéreo y una de mono, parecida a radio FM. La señal estéreo se transmite como una señal de doble banda lateral con portadora suprimida. La frecuencia de la portadora suprimida es 31.468 kHz. Esto es equivalente a la frecuencia subportadora de 38 kHz de un transmisor de radio FM.

El sonido de televisión multicanal (MTS) en una televisión NTSC es parecido a las transmisiones estereofónicas de la difusión de radio FM, excepto que el programa de audio secundario (SAP del inglés, *secondary audio program*) y los canales profesionales (PRO) se hicieron para utilizarse dentro del espectro de televisión. Las normas utilizadas en el MTS fueron desarrolladas por el Comité de sistemas de difusión de televisión (BTSC, del

inglés, *Broadcast Television Systems Committee*) y adoptadas en 1984 por la FCC para el uso de transmisiones de televisión.

Debido a las similitudes entre el radio FM y la transmisión de televisión aural, el conocimiento del estéreo FM ayuda a entender el desarrollo y adopción de las normas técnicas por las NTSC. En la década de 1930 el radio FM empezó utilizando audio monofónico o mono (un canal). En los sesentas se autorizó por primera vez que el radio FM usara la transmisión de los canales de audio estéreo. El método elegido para la codificación y transmisión del sonido estéreo debía ser compatible con los receptores existentes del radio monofónico de ese tiempo.

El audio mono se puede reproducir en un sistema estéreo sumando los dos canales de audio. Esta técnica de agregar el canal izquierdo (L) al derecho (R) se conoce como "L+R". En las transmisiones estéreo, el canal L+R también se llama canal principal. Un segundo canal, se llama canal estéreo y consiste en la diferencia de los canales izquierdo y derecho (L-R).

Cuando el radio mono FM remodula la transmisión, solo se recibe el canal L+R. Como el canal L+R es en realidad una señal mono, el radio es capaz de reproducir toda la señal de audio. En los receptores de estéreo tanto el canal L+R como el L-R son remodulados y mezclados aritméticamente para reproducir los dos canales originales. Esta mezcla se hace mediante el uso de álgebra de la siguiente forma.

$$L = \frac{[(L+R) + (L-R)]}{2} \quad 1.5.1 \quad ; \quad R = \frac{[(L+R) - (L-R)]}{2} \quad 1.5.2$$

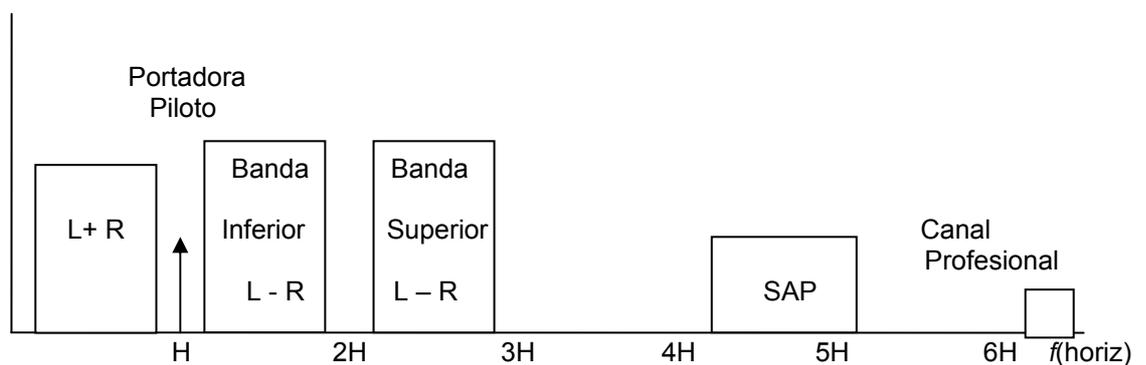
La capacidad de transmitir dos canales de audio en una frecuencia portadora se logra con una señal piloto y una subportadora. En el caso del radio FM, una frecuencia piloto de 19kHz se utiliza como referencia para la amplitud de 38 kHz modulada de doble banda lateral con portadora suprimida modulada. La señal L-R se modula en la subportadora. Al final del receptor, la señal piloto (la mitad de la frecuencia de la subportadora) se utiliza como referencia para remodular la transmisión de 38 kHz.

La señal L+R se demodula con el circuito detector estándar FM, como un discriminador, detector de relación o circuito PLL. Estos principios básicos de la decodificación estereofónica permanecen en el sistema MTS, pero la señal piloto y la subportadora de estéreo están en diferentes frecuencias.

Con el MTS, la señal piloto FM de 19 kHz se ha reemplazado con una cuya frecuencia es igual a la tasa de línea horizontal (H) de la señal de video. Este método utiliza 15.734 kHz (1H), después duplica la frecuencia para utilizarla como centro de la transmisión de portadora suprimida modulada en amplitud, que contiene la información de L-R.

El canal SAP contenido en la señal MTS se localiza en 78.7 kHz (5H). Es una subportadora de audio modulada simple FM con una desviación máxima de 15 kHz. El canal SAP pasa hasta 10 kHz de ancho de banda de audio y su propósito original fue usarlo en las estaciones que ofrecían lenguajes secundarios o audio descriptivo para el usuario con problemas visuales. Pero el SAP no se ha usado en el grado en que se pensaba. En consecuencia, algunas televisiones estéreo se fabrican sin los decodificadores SAP.

Figura 10. Espectro compuesto de audio MTS para televisión estéreo.



Fuente: Ferrel G. Stremler

Introducción a los Sistemas de Comunicación.

Pág.725.

2. PROCESAMIENTO DIGITAL

2.1 Fundamentos de video digital

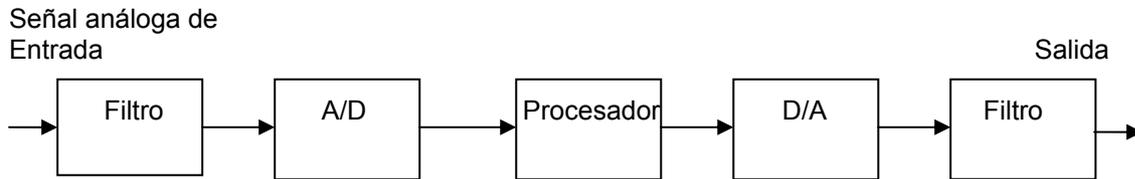
La década de 1970 fue caracterizada por la mayor revolución en lo que a las operaciones realizadas en un estudio de televisión se refiere, lográndose esto gracias a la tecnología digital, surgiendo las “cajas negras” que digitalizaban la señal para proporcionar sincronía de trama o bien para conversión de estándar. En la década de los 80's surgieron los grabadores digitales de video cassette, además de toda una gama de dispositivos que ofrecían efectos de video y sistemas gráficos, pero con el problema de no existir compatibilidad con otros equipos, dado a que no se contaba con un estándar establecido, lográndose mucha de la estandarización hasta los años 90 por medio de la Asociación de Imágenes en Movimiento e Ingenieros de Televisión (SMPTE por sus siglas en inglés).

Los dispositivos utilizados para el procesamiento digital de la señal de video “cajas negras” están formados básicamente por un filtro anti-interferencia, un convertidor de análogo a digital, el procesador, un convertidor de digital a análogo y el filtro que reconstruye la señal análoga. El convertidor de análogo a digital A/D envuelve tres pasos:

- El muestreo de la señal análoga a una razón constante.
- La cuantización de los valores muestreados.
- La codificación de la señal.

La señal digitalizada alimenta el procesador que cual podría desempeñar cualquier función, como por ejemplo, podría utilizarse para corregir la señal o bien podría desempeñarse como grabador digital. La señal del procesador se aplica al convertidor de digital a análogo D/A, y la salida de este último alimenta un filtro pasa bajas, el cual permite la reconstrucción final de la señal.

Figura 11. Procesamiento digital de las señales de audio o video.



2.1.1 Muestreo de la Señal

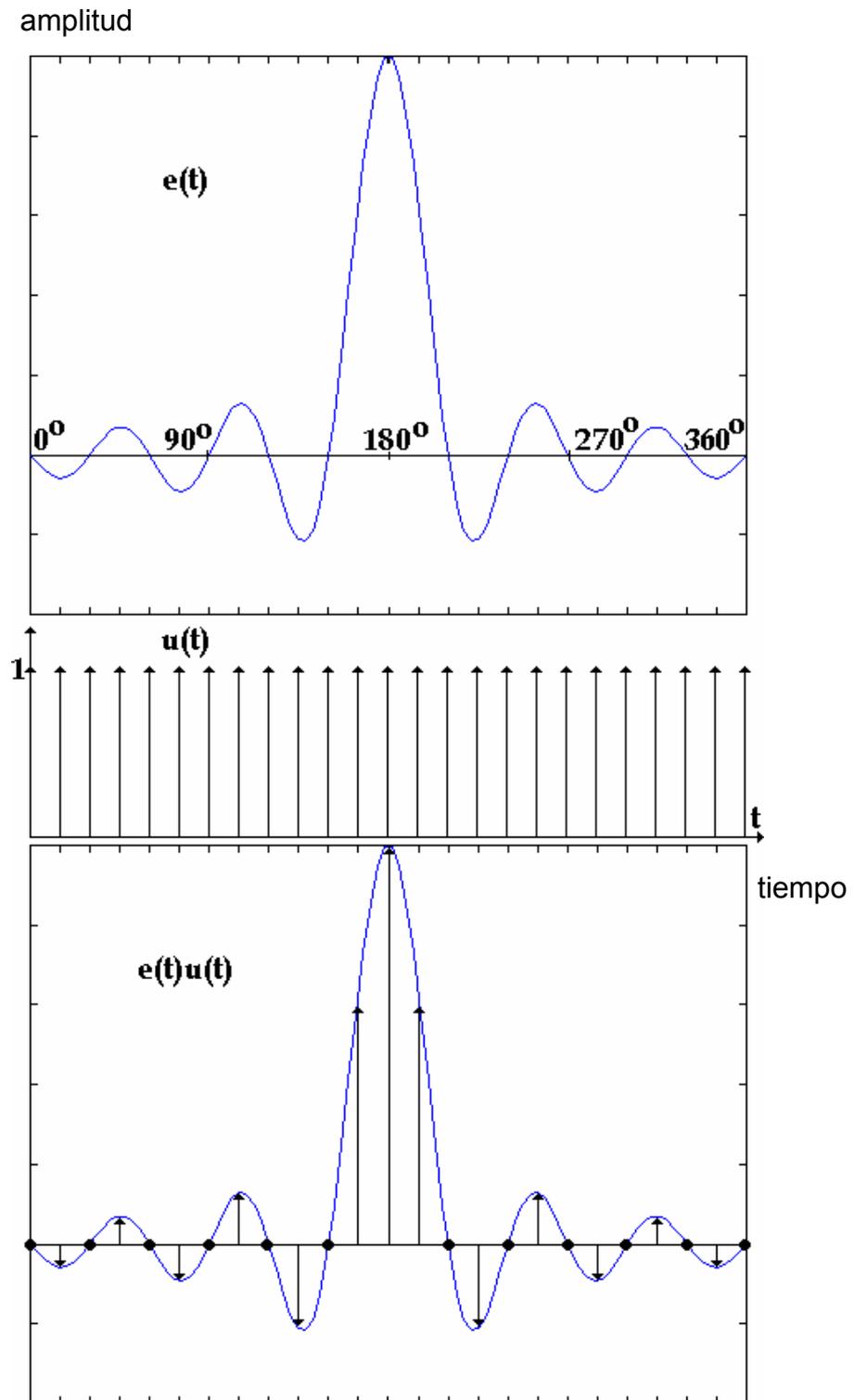
La amplitud de la señal de video analógica es muestreada periódicamente cada T segundos, por un tren de pulsos angostos, muestreándose a la frecuencia f_s dada por el teorema de Nyquist, la cual queda dada por la siguiente expresión

$$f_s = \frac{1}{T} \quad 2.1.1.1$$

Donde f_s tendrá que ser mayor o igual que el doble de la frecuencia f_b a la cual esta limitada la señal que se desea muestrear, siendo la señal de video en este caso.

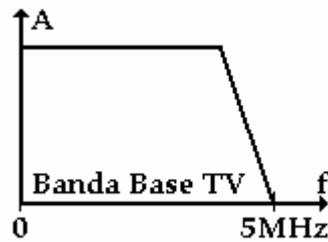
Este muestreo puede representarse por la multiplicación de la señal analoga $e(t)$ por un tren de impulsos $u(t)$, dando por resultado la señal de la parte inferior de la figura 12.

Figura 12. Muestreo de una señal analógica utilizando un tren de impulsos.



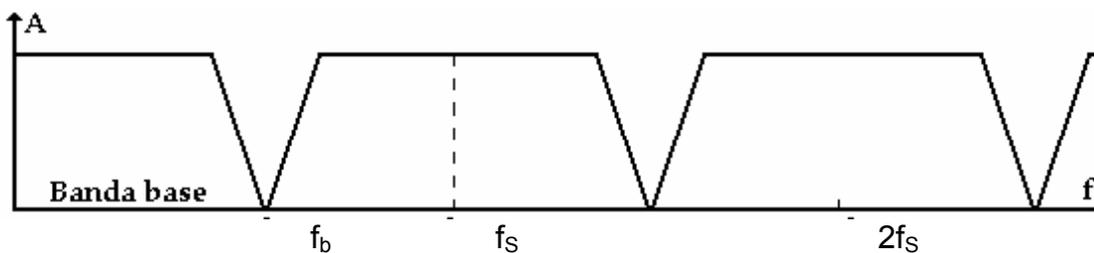
Una señal de video esta compuesta por un gran número de frecuencias formando un espectro continuo que va desde 0 a unos 5 MHz como se representa en la figura 13.

Figura 13. Banda base de la señal de video.



Al muestrear esta señal, cada frecuencia de video aparecerá en las bandas laterales superiores e inferiores de cada armónico de la frecuencia de muestreo, incluyendo naturalmente la banda base, esto es, el armónico cero. El espectro de la señal muestreada se presentara por tanto, como se muestra en la figura 2.3. De esta misma figura se deduce la condición elemental antes mencionada, que indica que debe cumplirse que $f_s > 2f_b$ para que la banda lateral inferior de la frecuencia y la banda base no se superpongan.

Figura 14. Espectro de la señal de video al muestrearse a la razón de Nyquist.



La recuperación de la banda base se realizaría con un filtro pasa bajo que corte todas las frecuencias superiores a $f_s/2$. De no cumplirse el teorema de muestreo de Nyquist, el filtro dejaría pasar frecuencias pertenecientes a la banda

2.1.2 Cuantización de los valores muestreados

Se denomina cuantización al proceso mediante el cual se atribuye a cada muestra un valor de amplitud dentro de un margen de niveles previamente fijado. Este valor se representa por un número que será convertido a un código de ceros y unos en el proceso de codificación.

La cuantización convierte todos los niveles de amplitud que varían análogamente a una cantidad finita de niveles Q según la expresión

$$Q = 2^n \quad 2.1.2.1$$

Donde n representa la cantidad bits que se utilizaran para codificar cada muestra, asignando un valor numérico discreto para cada una de estas. Al cuantizar la señal resulta una diferencia aleatoria entre la señal original y la señal ya cuantizada, esta diferencia o error puede entenderse como ruido debido al proceso de cuantización y es llamado error de cuantización.

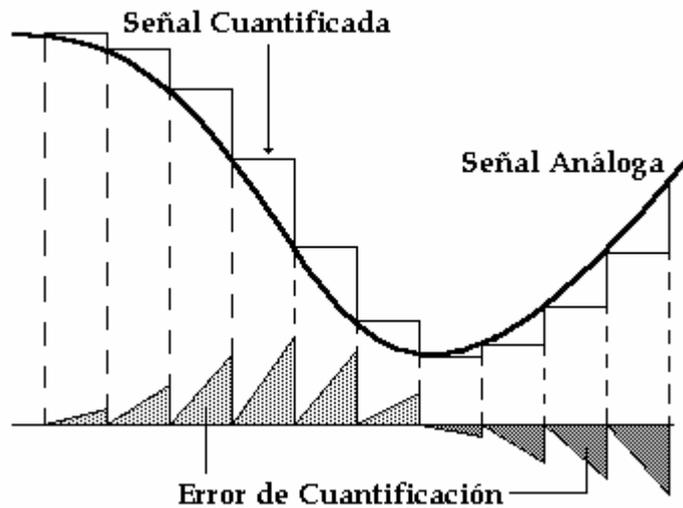
El número de pasos en los que se cuantiza la señal y consecuentemente la magnitud del error de cuantización, depende del número de bits por muestra. Tecnología reciente utiliza 7 u 8 bits por muestra, dependiendo de la clase de equipo, resultando en 128 ó 256 pasos de cuantización. Con muy pocas excepciones, en aplicaciones de alta calidad para estudio se utilizan 10 bits por muestra, resultando en 1024 pasos de cuantización.

2.1.3 Error de cuantización

La amplitud de la señal de video varía en el tiempo. El mayor error que pueden tener los valores cuantizados puede ser tan grande como $\pm \frac{1}{2} Q$, donde Q es la amplitud del intervalo de cuantización. Para 8 bits o más por muestra, el error de cuantización puede ser interpretado como una señal no deseada (entiéndase ruido) agregada a la señal original por el proceso de cuantización. Por debajo de 8 bits por muestra, el error de cuantización resulta en una severa distorsión de la

forma de onda. Para cuantización lineal y asumiendo que los errores son uniformemente distribuidos, la magnitud RMS para el error de cuantización es $Q/(12)^{1/2}$. La salida pico a pico del convertidor D/A se asume que será igual a $2^n Q$, el valor preciso es realmente $(2^n - 1)Q$.

Figura 16. Error de cuantización.



La relación señal S a ruido Q_{RMS} para una “caja negra” ideal es dada por la siguiente expresión

$$\frac{S}{Q_{RMS}} (dB) = 20 \log_{10} \left(\frac{2^n Q \times \sqrt{12}}{Q} \right) \approx 6.02n + 10.8 \quad 2.1.3.1$$

La fórmula antes mencionada asume que la señal analógica ocupa todo el rango de cuantización. Dado un sistema de video digital con 8 bits por muestra, el valor teórico de la relación señal a ruido es:

$$\frac{S}{Q_{RMS}} = 58.96 \text{ dB} \quad 2.1.3.2$$

La relación señal a ruido es alterada por los siguientes factores:

- El hecho que el espectro este limitado en banda a f_{\max} (4.2 o 5 MHz, por ejemplo). Limitando el espectro a f_{\max} mejora la relación señal a ruido S/Q_{RMS} por un factor de $10\log_{10}(f_s/f_{\max})$.
- El rango de cuantización ocupado por la señal de video (100 IRE). La relación señal a ruido S/Q_{RMS} es referenciada respecto del valor pico-pico de la amplitud de la señal de video, 714 o 700 mili-Voltios (mV). Una señal de barras de video compuesto al 100% tiene una amplitud pico-pico de 1.22 V (para NTSC). Asumiendo que toda la señal es cuantizada, entonces la señal de luminancia (714 mV) ocupara solamente una porción del rango completo de cuantización. La proporción seria $0.714/1.22 \approx 0.58$ para NTSC. Esto daría como resultado una disminución en los pasos de cuantización y consecuentemente en una reducción para el valor de la relación señal a ruido. Si el rango de cuantización permite cierto margen sobre el máximo valor pico-pico de la amplitud de la señal de video, entonces la relación señal a ruido será reducida aun más debido a este margen. La expresión para la relación señal a ruido seria modificada de la siguiente forma:

$$\frac{S}{Q_{RMS}}(dB) = 6.02n + 10.8 + 10\log_{10}\left(\frac{f_s}{2f_{\max}}\right) - 20\log_{10}\left[\frac{V_q}{(V_W - V_B)}\right] \quad 2.1.3.3$$

Donde n = número de bits por muestra

f_s = frecuencia de muestreo

f_{\max} = frecuencia de muestreo

V_q = voltaje que es ocupado por el rango completo de cuantización

V_W = nivel de señal de blanco, V

V_B = nivel de señal de borrado, V

$V_W - V_B = 0.714$ V (NTSC)

Ignorando el margen sobre el máximo valor de la señal de video, el cálculo de la relación S/Q_{RMS} para una caja negra de NTSC con un ancho de banda de 4.2 MHz, una frecuencia de muestreo de 14.3 MHz y 8 bits por muestra, es igual a:

$$\frac{S}{Q_{RMS}}(dB) = 6.02n + 10.8 + 10 \log_{10} \left(\frac{14.3}{2 \times 4.2} \right) - 20 \log_{10} \left[\frac{1.22}{0.714} \right] \quad 2.1.3.4$$

$$\frac{S}{Q_{RMS}}(dB) = 6.02n + 10.8 + 2.31 - 4.65 \quad 2.1.3.5$$

$$\frac{S}{Q_{RMS}}(dB) = 56.62 \quad 2.1.3.6$$

El aumento de S/Q_{RMS} en +2.31 dB debido a la restricción del ancho de banda a 4.2 MHz es contrarrestado por el efecto de reducción de los pasos de cuantización con -4.65 dB. Si hubiéramos tomado en cuenta el margen sobre el máximo valor de la señal de video tendríamos una reducción extra de 1 dB aproximadamente.

2.1.4 Codificación digital de la señal análoga

Existen dos planteamientos acerca de la digitalización de la señal de televisión en color.

- Codificación de la señal compuesta.
- Codificación de componentes.

2.1.4.1 Codificación de la señal compuesta

Consiste en digitalizar directamente las señales compuesta existentes (NTSC, PAL, SECAM), lo que ocasiona que persista el problema de la incompatibilidad de las distintas normas internacionales, aun manteniendo la

misma frecuencia de muestreo y codificación. La decodificación devolvería las señales NTSC, PAL o SECAM, respectivamente. La ventaja fundamental de digitalizar la señal compuesta radica en que el equipo puede incluirse como una unidad más en lo Estudio de TV analógicos que actualmente están en servicio, sin necesidad de codificar o decodificar el NTSC, PAL o SECAM. En las siguientes figuras se muestra como opera el tratamiento de imágenes analógicas durante la transición de la televisión analógica a digital, para el caso de codificación de señales compuestas.

Figura 17. Codificación de la señal compuesta.

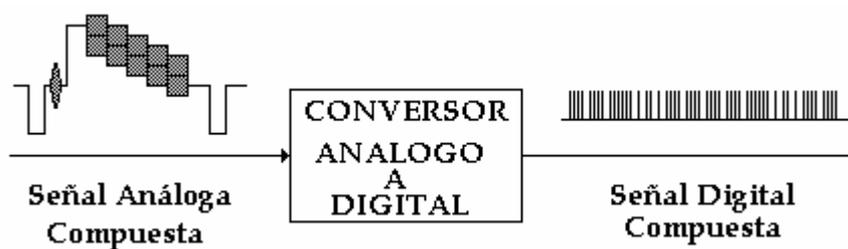
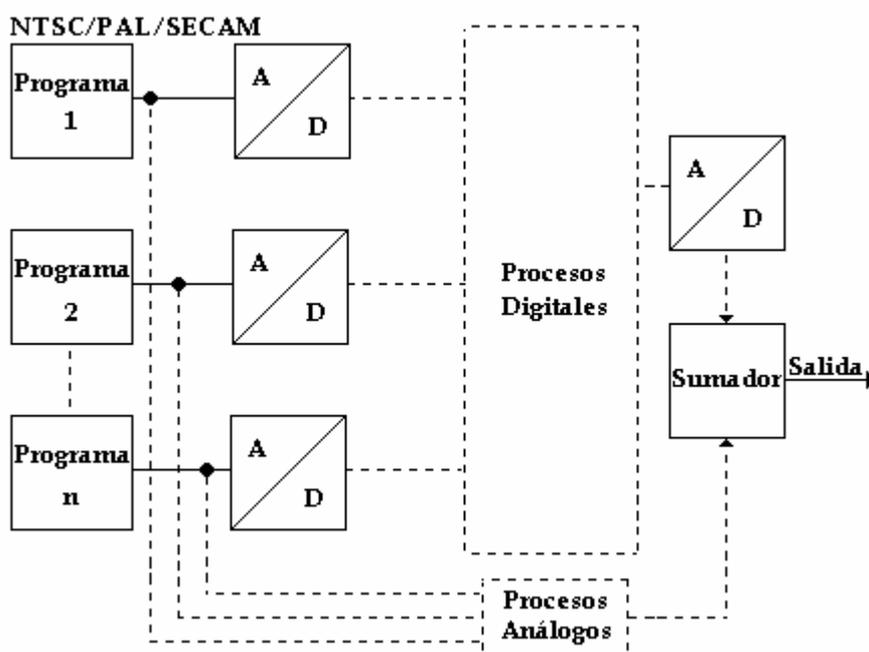


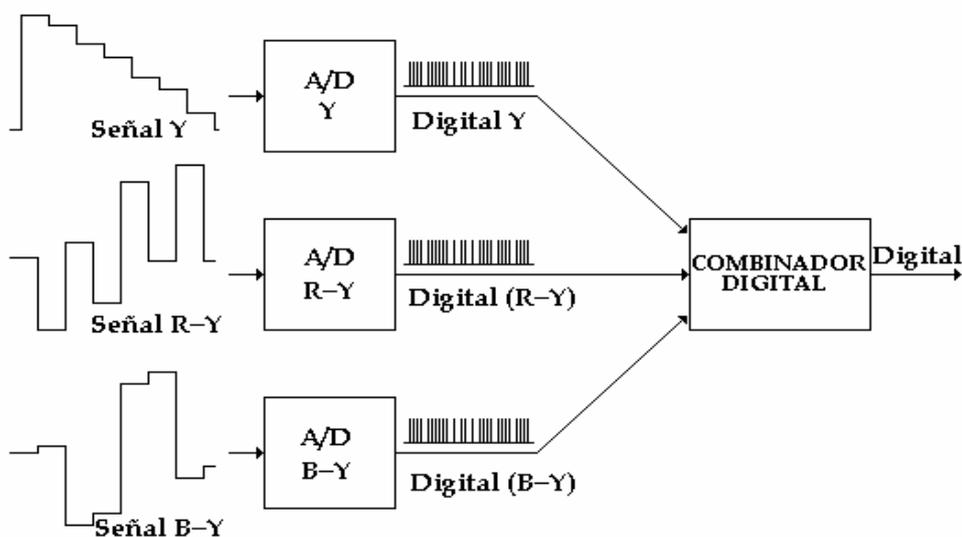
Figura 18. Transición de analógico a digital de las señales compuestas.



2.1.4.2 Codificación de componentes

En este método se digitalizan las tres señales Y , $k_1(R-Y)$, $k_2(B-Y)$ donde k_1 y k_2 son factores de ponderación que impone el sistema digital. Estos factores no tienen los mismos valores que los coeficientes ponderados de NTSC, PAL o SECAM. La primera gran ventaja que se deriva de esta codificación es que siendo estas tres señales comunes a todos los sistemas, la compatibilidad puede alcanzarse por regulación internacional de los parámetros de muestreo, cuantización y codificación. En tal sentido el CCIR (Comité Consultivo Internacional de Radio Comunicaciones) emitió en 1982 la norma 4:2:2 CCIR 6001 de televisión digital en componentes. La segunda ventaja de esta codificación es que una vez alcanzada la digitalización plena de la producción, solo se requiere un paso final de conversión D/A y una codificación NTSC, PAL o SECAM según el sistema adoptado de transmisión. Además se tiene la ventaja que el tratamiento digital en componentes elimina los efectos perturbadores mutuos de luminancia y crominancia a la vez que en edición electrónica desaparecen los problemas derivados de la estructura de 4 y 8 campos NTSC y PAL respectivamente. Solo habría que tenerse en cuenta la estructura de dos campos entrelazados como en televisión en blanco y negro.

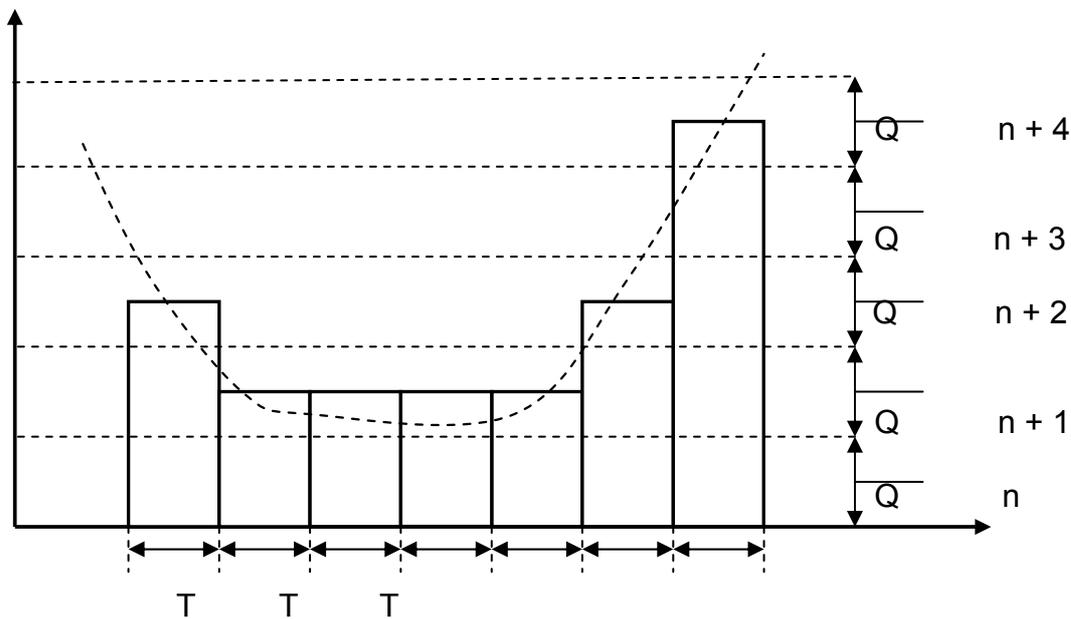
Figura 19. Codificación de componentes.



2.1.5 Conversión D/A

En la siguiente figura se puede ver la forma de onda a la salida de un convertidor D/A, la cual consiste de un tren de pulsos rectangulares de la misma amplitud que la señal que fue digitalizada y con ancho constante de $T = 1/f_s$.

Figura 20. Forma de onda de la salida de un convertidor D/A.



2.1.6 Estándares digitales

De la tendencia hacia estudios de televisión totalmente digitales resulta la necesidad de estándares para el equipo utilizado en la industria del video digital. Para satisfacer esta necesidad, se desarrollaron dos estándares para equipo de estudio digital, los cuales son:

- Estándar $4f_{SC}$ NTSC
- Estándar $4f_{SC}$ PAL

En estos sistemas la señal de video compuesta es muestreada a razón de cuatro veces la subportadora de color ($4f_{SC}$). El número de bits por muestra juega un papel importante en la determinación de la calidad de la señal y en la grabación

de cintas. Con los estándares antes mencionados se utilizan 8 o 10 bits por muestra. A continuación se entrara en más detalle en el estándar $4f_{SC}$ NTSC dado que es el que se utiliza en la región.

2.1.7 Estándar $4f_{SC}$ NTSC

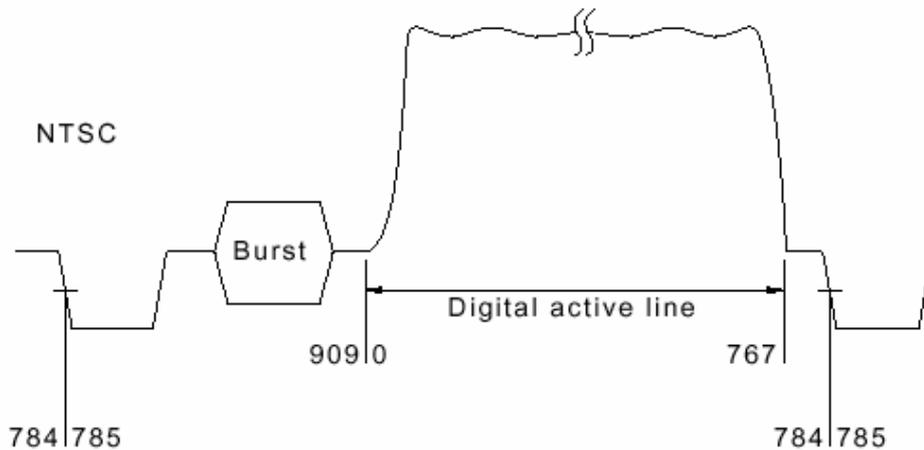
El estándar SMPTE 244M define las características del sistema denominado $4f_{SC}$ NTSC, para el cual la frecuencia de muestreo es igual a cuatro veces la frecuencia de la subportadora de color de 14.32 MHz ($3.58 \times 4 = 14.32$). El reloj utilizado para generar la frecuencia de muestreo se toma desde el burst de la señal analógica de color. El estándar no especifica las características *antialiasing* y tampoco especifica los filtros de reconstrucción, por lo que los fabricantes pueden elegir en utilizar filtros muy selectivos pero costosos, o bien utilizar filtros de desvanecimiento gradual cuyo costo es moderado. Como resultado de esto, varios productos $4f_{SC}$ tienen diferentes anchos de banda analógicos. Es importante notar que una señal generada digitalmente alimentara directamente una unidad digital de $4f_{SC}$ teniendo un ancho de banda análogo equivalente igual a $f_{SC}/2 = 7.16$ MHz.

Este estándar SMPTE fue desarrollado con referencia en las especificaciones originales de NTSC, el cual utiliza codificación I/Q en lugar de codificación B-Y/R-Y que es el más utilizado en la practica.

El estándar NTSC $4f_{SC}$ requiere que el instante en el que se realiza el muestreo coincida con un pico positivo y negativo de las componentes subportadoras I y Q. Dada una frecuencia de muestreo de $f_s = 14.3181$ MHz (nominalmente de 14.32 MHz) y una frecuencia de escaneo horizontal de $f_H = 15734.25$ Hz, el número total de muestras por línea es de $f_s/f_H = 910$.

La línea digital activa contiene 768 muestras, las restantes 142 muestras se utilizan en el intervalo de borrado horizontal. Las 910 muestras por línea son por lo tanto numeradas de 0 a 909. Las muestras 0 hasta 767 contienen los datos de la línea digital activa. En la figura 21 se muestra como en NTSC se muestrea en la armónica $4f_{SC}$ y la numeración de la muestra comienza al principio de la línea activa y finaliza en la línea siguiente.

Figura 21. Muestreo para $4f_{sc}$ NTSC



En lo que se refiere al rango de cuantización el estándar proporciona 1024 niveles (2^{10}), si se utiliza la representación hexadecimal se tiene una variación desde 000 hasta 3FF, y si se utiliza la representación decimal se tiene el rango de 0 a 1023. En la tabla II se muestra un resumen de los niveles de cuantización para una resolución de 8 y 10 bits. Los niveles digitales 000, 001, 002, 003 y 3FC, 3FD, 3FE, 3FF están protegidos y es permitido utilizarse en el flujo digital; teniendo entonces una variación desde 4 a 1019 si se representa en decimal o bien desde 004 hasta 3FB si se representa en hexadecimal, para poder representar el video digital. Para fines de sincronía se utiliza el valor 16 en decimal o bien el 010 en hexadecimal. El valor más alto de la señal corresponde al amarillo y al cyan, para el que se asigna el valor 972 decimal o 3CC en hexadecimal. Para fines de cabecera el estándar utiliza el rango de 4 a 16 en decimal (004 a 010 Hexadecimal) para la parte inferior y los niveles desde 972 a 1019 en decimal (3CC a 3FB Hexadecimal) para la parte superior. Debido al intervalo de cabecera se pierde 1dB aproximadamente en la relación señal a ruido.

Tabla II. Valores para 8 y 10 bits de resolución para el estándar $4f_{SC}$ NTSC.

	8 bits	10 bits
Niveles protegidos	FF	3FC,3FD,3FE,3FF
Nivel más alto	FE	8FB
Pico de Croma	F3	3CC
Nivel de Blanco	C8	320
Nivel de negro	46	11A
Nivel de borrado	3C	0F0
Sincronía	04	016
Nivel más bajo	01	004
Niveles protegidos	00	000,'001,'002,'003

El valor teórico para la relación señal a ruido S/Q_{RMS} puede calcularse utilizando la misma ecuación utilizada en la sección anterior

$$\frac{S}{Q_{RMS}}(dB) = 6.02n + 10.8 + 10 \log_{10} \left(\frac{f_s}{2f_{max}} \right) - 20 \log_{10} \left[\frac{V_q}{(V_W - V_B)} \right] \quad 2.1.7.1$$

Para $n = 10$ bits por muestra

$$f_s = 14.32 \text{ MHz}$$

$$f_{max} = 4.2 \text{ MHz}$$

$$V_q = 1.3042 \text{ V}$$

$$V_W - V_B = 0.714 \text{ V}$$

Tenemos entonces

$$\frac{S}{Q_{RMS}}(dB) \approx 68.10 \quad 2.1.7.2$$

En un sistema de 8 bits por muestra, 254 de los 256 niveles (01 hasta FE) son utilizados para expresar los valores cuantizados.

Los niveles 00 y FF están protegidos y no permitidos en el flujo de datos digitales. El calculo teórico de la relación señal a ruido S/Q_{RMS} para un sistema de 8 bits por muestra es de

$$\frac{S}{Q_{RMS}} (dB) \approx 56.06 \quad 2.1.7.3$$

En lo que respecta a la formación de la imagen se tienen algunas diferencias con el sistema NTSC análogo. Para el campo digital activo la duración de este excede al campo análogo activo. El periodo del campo digita activo empieza antes y termina después que el campo análogo. En una secuencia de cuatro campos NTSC el intervalo del barrido vertical se extiende desde la línea 525, muestra 768 a 9,

2.1.8 Razones de muestreo

Las diferentes tasas de muestreo que se utilizan actualmente tienen como referencia una frecuencia de 3.375 MHz. Estas diferentes razones de muestreo son:

- Muestreo 4:2:2 : La señal de luminancia es muestreada a 13.5 MHz (4x3.375 MHz) y cada una de las señales de diferencia de color son muestreadas a 6.75 MHz (2x3.375 MHz).
- Muestreo 4:1:1 : La señal de luminancia es muestreada a 13.5 MHz (4x3.375 MHz) y cada una de las señales de diferencia de color son muestreadas a 3.375 MHz (1x3.375 MHz).
- Muestreo 4:4:4 : En este caso tanto la señal de luminancia como las señales de diferencia de color son muestreadas a 13.5 MHz (4x3.375 MHz).

La frecuencia de 13.5 MHz fue seleccionada para el muestreo de la señal de luminancia dado que esta permitiría un número entero de periodos de muestras en los periodos de línea de los estándares de escaneo 525/60 y 625/50. El número total de muestras por línea es igual a f_s/f_H , donde $f_s = 13.5$ MHz y f_H es la frecuencia de escaneo horizontal, la cual es un poco diferente para los dos estándares de escaneo, resultando en 858 muestras para el estándar 525/60 y en 863 para el estándar 625/50.

Figura 22. a) Muestreo del estándar de post producción 4:2:2 b) Muestreo 4:1:1 el cual recorta el ancho de banda horizontal del color.



x Muestreo de la señal de luminancia Y

(x) Muestreo de la señal de luminancia Y conjuntamente con las señales de diferencia de color.

Fuente: Michael Robin y Michel Poulin.
 Digital Televisión Fundamentals.
 Página 185.

2.1.9 Multiplexión por división de tiempo de las señales de video

Dependiendo de la aplicación, las muestras de las señal de luminancia (Y) y de las señales de diferencia de color (C_B , C_R) pueden transmitirse en forma separada, o bien utilizando multiplexión por división de tiempo. El número total de muestras de luminancia y crominancia por línea es de 1716 para el estándar 525/60 numeradas de 0 a 1715, y de 1728 para el estándar 625/50, numeradas de 0 a 1727. La línea digital activa acomoda 720 muestras de luminancia, 360 muestras de la señal C_B (señal B-Y), y 360 muestras de la señal C_R (señal R-Y), en ambos estándares, teniendo entonces un total de 1440 palabras por línea activa. Por lo tanto se cuenta con 276 muestras para el intervalo de borrado en el estándar 525/60, y 288 muestras para el estándar 625/50.

2.2 Fundamentos de audio digital

Desde el principio de la década de 1980 el equipo de audio digital ha venido sustituyendo al equipo análogo, tanto en sistemas de producción, como en radiodifusión. Los equipos digitales con entradas y salidas analógicas fueron creados para sustituir directamente a los equipos analógicos pero permitiendo seguir trabajando en un entorno analógico. Sin embargo la tendencia es que tanto la producción como la transmisión sean totalmente digitales. Para este fin la Asociación de Ingenieros de Audio (AES, del inglés *Audio Engineering Society*) norteamericana, conjuntamente con la Unión de Radiodifusión Europea (EBU, del inglés, *European Broadcasting Union*) desarrollaron el estándar AES/EBU para audio digital.

La integración de equipo digital en un entorno analógico requiere que las señales analógicas sean convertidas a señales digitales y viceversa. El proceso de audio digital se convierte en atractivo si el proceso de conversión (A/D o D/A) produce una degradación despreciable.

2.2.1 Conversión A/D de las señales de audio

Los transductores de audio que se utilizan, tales como micrófonos y bocinas son dispositivos analógicos. Las señales continuas que se obtienen de estos dispositivos son convertidas a un formato discreto en el tiempo, es decir, son digitalizadas. La conversión A/D es el principal factor que afecta el nivel de calidad que se puede ofrecer en audio digital, la cual también es afectada por los límites del rango dinámico, y la distorsión armónica.

2.2.2 Muestreo y cuantización de la señal de sonido

En la sección anterior al describir el muestreo de la señal de video asumimos que la duración de pulsos con los que se muestrea era cercano a cero. Para contar con el tiempo suficiente para que se pueda realizar la conversión A/D la amplitud de uno de los pulsos de muestreo se mantiene hasta que llega el pulso siguiente, obteniéndose una señal en forma de gradas.

La respuesta en frecuencia resultante del proceso de retención es la transformada de Fourier de un pulso. Esto da como resultado la atenuación de las altas frecuencia y es referido como error de apertura. La atenuación que se obtiene es similar a la que proporcionarían un filtro cuya respuesta en frecuencia es $(\text{Sinx})/x$. El espectro de la señal muestreada tiene ceros para valores de frecuencia múltiplos de la frecuencia de muestreo.

A cada muestra de la señal analógica muestreada se le asigna un código digital binario por medio de un dispositivo llamado cuantizador. En un sistema lineal de 4 bits, por ejemplo, se cuenta con 16 posibles valores binarios para codificar la amplitud del pulso de cada muestra. Dado que se tienen únicamente 16 valores discretos para describir cada muestra, cada amplitud puede estar entre dos valores discretos. En este caso se selecciona el valor más cercano, generándose un error de cuantización, el cual corresponde a la diferencia entre la forma de onda original de audio y la representación en forma de “gradas” que se obtuvo al

muestrear y retener la señal de audio. Para reducir el error de cuantización se puede incrementar el número de niveles discretos o bien se puede incrementar la frecuencia de muestreo (sobre muestreo). El error resultante puede interpretarse como ruido agregado a la señal original lo que produce una pérdida de la calidad del sonido. En una aproximación podemos asumir que no hay una relación entre el valor del error de una muestra que nos permita predecir el valor del error de la siguiente muestra, por lo que decimos que el error de cuantización es aleatorio, pudiendo entonces representar su densidad de probabilidad por medio de una función uniforme, lo que indica que se cuenta con la misma cantidad de energía para todas las frecuencias, lo que caracteriza el ruido blanco.

Si representamos la señal de sonido como una señal sinusoidal cuya máxima amplitud de pico es de V voltios, podríamos calcular la relación señal a ruido de cuantización, de la siguiente manera

Sabiendo que

$$2V = MQ \quad 2.2.2.1$$

Donde:

V es la amplitud de pico de la señal de audio

M es la cantidad de niveles de cuantización ($M = 2^n$ para n bits por muestra)

Q es el tamaño del paso de cuantización

Así

$$V = \frac{2^n Q}{2} \quad 2.2.2.2$$

Simplificando un poco y dividiendo entre $2^{1/2}$ para obtener el valor RMS, tenemos

$$V = \frac{2^{n-1} Q}{\sqrt{2}} \quad 2.2.2.3$$

Para el error cuadrático medio, donde la función de probabilidad esta dada por $1/Q$. tenemos

$$\sqrt{\frac{1}{Q} \int_{-\frac{Q}{2}}^{\frac{Q}{2}} e^2 de} = \frac{Q}{\sqrt{12}} \quad 2.2.2.4$$

Así la razón del los valores RMS de la señal de audio y el ruido de cuantización queda expresada de la siguiente manera

$$SNR = \frac{V}{N} = \frac{2^{n-1} Q}{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{12}}{Q} = 2^n \sqrt{1.5} \quad 2.2.2.5$$

La que puede representarse en decibeles, teniendo entonces

$$SNR(dB) = 6.02n + 1.76 \quad 2.2.2.6$$

Por ejemplo, un convertidor A/D de 16 bits produce una relación señal a ruido (SNR, del ingles, Signal to noise ratio) de 98 dB, mientras que un convertidor de 20 bits tiene una SNR de 122 dB.

Cada muestra cuantizada es codificada de acuerdo a los requerimientos de transmisión y grabación. Los sistemas de codificación más utilizados son la modulación por código de pulso (PCM, del ingles, *Pulse Code Modulation*), la modulación por ancho de pulso (PWM, del ingles, *pulse-width modulation*), modulación delta adaptativo (ADM, del ingles, *Adaptative delta modulation*), punto flotante, y PCM diferencial (DPCM). PCM es el más extensamente utilizado para codificación de audio, pero es el menos eficiente.

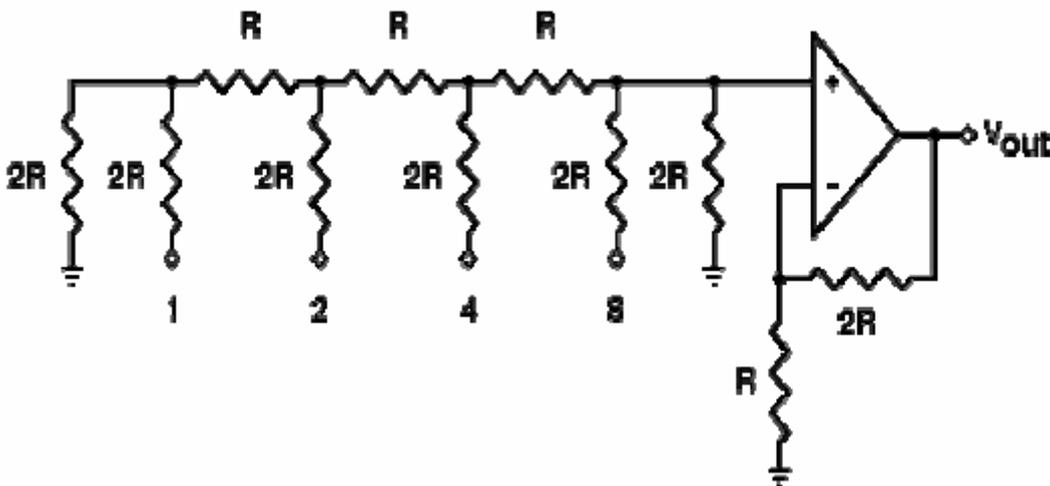
2.2.3 Principios de conversión D/A

Básicamente, la conversión D/A es el proceso de tomar un valor representado en código digital (como binario directo o BCD) y convertirlo en un voltaje corriente que sea proporcional al valor digital.

La resolución de un convertidor D/A se define como la menor variación que puede ocurrir en la salida analógica como resultado de un cambio en la entrada digital.

En la siguiente figura se muestra un circuito básico de un convertidor D/A (DAC) que utiliza una red de escalera R-2R. Debido a la pequeña dispersión de valores de resistencia, esta red suele preferirse sobre otros posibles arreglos de resistencias. Como se puede ver, empezando de la derecha y trabajando hacia la izquierda, la resistencia a la derecha de cada nodo de escalera es 2R.

Figura 23. Convertidor de digital a analógico (DAC).



La corriente que circula a la derecha, alejándose de cada nodo, es igual a la corriente que circula hacia abajo a tierra, y por la ley de corrientes de Kirchoff se sabe que el doble de esta corriente entra en el nodo desde el lado izquierdo, entonces se deduce que

$$I_1 = 2I_2 = 4I_3 = \dots = 2^{n-1} I_n \quad 2.2.3.1$$

La corriente de salida depende de las el estado de los valores binarios de las terminales 1,2,3 ..etc.. Esta corriente puede hacerse circular por un convertidor de corriente-voltaje basado en un amplificador operacional para obtener el voltaje de salida. Teniendo entonces que

$$i_o = \frac{V_{ref}}{R} D \quad 2.2.3.2$$

Donde D es un factor que depende de los estados binarios.

2.2.4 Estructura del protocolo AES/EBU

El formato de audio AES/EBU posee una estructura de trama, la cual esta dividida en dos subtramas (subtrama A y subtrama B). En cada una de estas subtramas se incluye información de una fuente de audio o canal, datos auxiliares, datos de preámbulo, datos asociado, además de bit de validación (V), de usuario (U), de canal (C) y bit de paridad (P). Las tramas de audio se agrupan en bloque de 192 tramas. La bandera (Z) permite la detección del inicio y final de cada bloque. La duración de la trama de audio es de 20.83 μ s in un sistema con muestreo a 48 kHz. La duración de cada bloque de tramas es de

$$20.83 \mu\text{s} \times 192 = 4000 \mu\text{s} \quad 2.2.4.1$$

Los cuatro bits de preámbulo, son conocidos como palabra de sincronización, y son utilizados para identificar el inicio de una nueva muestra y de un nuevo bloque de datos. Tres diferentes palabras son utilizadas

- Z: esta secuencia de bits indica el inicio de la primer trama de un nuevo bloque de audio, conocida como la bandera Z.
- X: esta señal indica el inicio de las tramas restantes.
- Y: indica el inicio de cada una de las subtramas B.

2.2.5 Implementación de la interfase de audio digital

Para interconectar los equipos de audio, puede utilizarse cables balanceados. Los cables utilizados para equipo analógico ya existente pueden utilizarse para la distribución del audio digital en el estudio, pero la máxima longitud del cable debe ser limitada a 100 m, dependiendo del tipo de cable. El cableado de alta calidad que utiliza par trenzado puede permitir distancias de hasta 250 m.

2.3 Codificación de canal

La codificación de canal describe la manera en la que se representan los 1's y 0's del flujo de datos en el camino físico que deben recorrer. Existen muchos estándares de codificación de canal, los cuales buscan optimizar algún aspecto de la señal de bits que será transmitida en forma serial, tal como su distribución espectral, su componente de DC, la recuperación de reloj o la relación señal a ruido.

2.3.1 Teorema de Shannon

Según Shannon, un canal de comunicaciones ruidoso tiene una tasa límite de transmisión de información, la cual es conocida como capacidad de canal y esta dada por la siguiente expresión

$$C(\text{bps}) = B \log_2 \left[1 + \left(\frac{S}{N} \right) \right] \quad 2.3.1.1$$

Donde B = Ancho de banda, Hz

S = Potencia de la señal recibida, W

N = Potencia del ruido que acompaña a la señal, W

Entre los códigos de canal más utilizados, tenemos, NRZ, NRZI y BMC, los cuales se describen brevemente a continuación.

2.3.2 Tipos de codificación de canal

Entre los códigos de canal más utilizados, tenemos, NRZ, NRZI y BMC, los cuales se describen brevemente a continuación.

2.3.2.1 Código NRZ

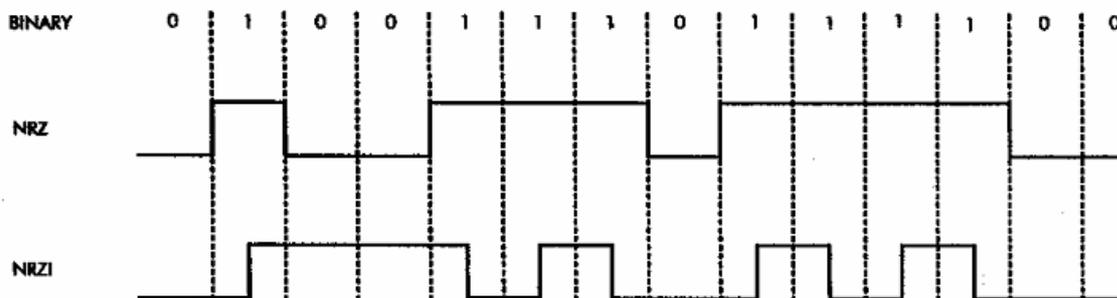
En este código de canal, los ceros y unos son transmitidos como niveles negativos y positivos, de tal forma que el cambio de nivel solo ocurre cuando los bits de datos cambian. NRZ significa que durante una serie de “unos” consecutivos, el nivel permanece constante y no retorna a cero durante cada bit (NRZ, del inglés, *Non Return to Zero*). Este código se caracteriza por tener un

nivel de DC bien definido tanto para los ceros, como los unos, además permite la recuperación de reloj mediante el uso de un PLL utilizando un VCO.

2.3.2.2 Código NRZ Invertido (NRZI)

Para la transmisión serial de los bits de la información de video se utiliza el código NRZI, el cual es derivado de NRZ (NRZ invertido). En este código los “ceros” son representados por un nivel de DC (alto o bajo) y lo “unos” son representados como una transición. Cuando la señal digital consta de una serie de “unos” consecutivos, en NRZI se tiene una onda cuadrada, tal como se muestra en la siguiente figura. En NRZI se tienen más transiciones que en NRZ, resultando esto en una mejora al utilizar un PLL para recuperar el reloj.

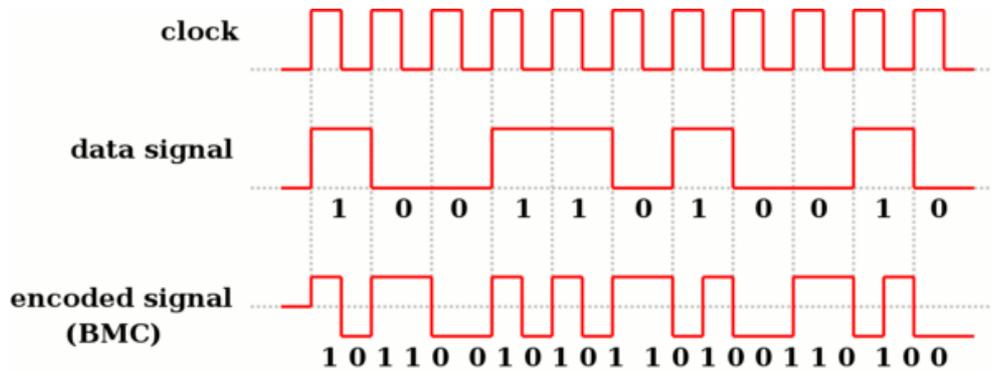
Figura 24. Representación de códigos de canal NRZ y NRZI.



2.3.2.3 Codificación bifásica (BMC)

En codificación bifásica, cada bit de la señal original de datos es representado con dos estados lógicos. Cada “uno” de la señal original es representado como una transición (10 o 01). Los “ceros” son representados como dos estados iguales (00 o 11). El nivel con el que inicia cada par es inverso al nivel con el que termino el par anterior. En BMC los 1’s y 0’s son representados con el mismo nivel de voltaje, utilizando diferente polaridad. Dado que no se tiene componente de DC se reduce la potencia necesaria para transmitir.

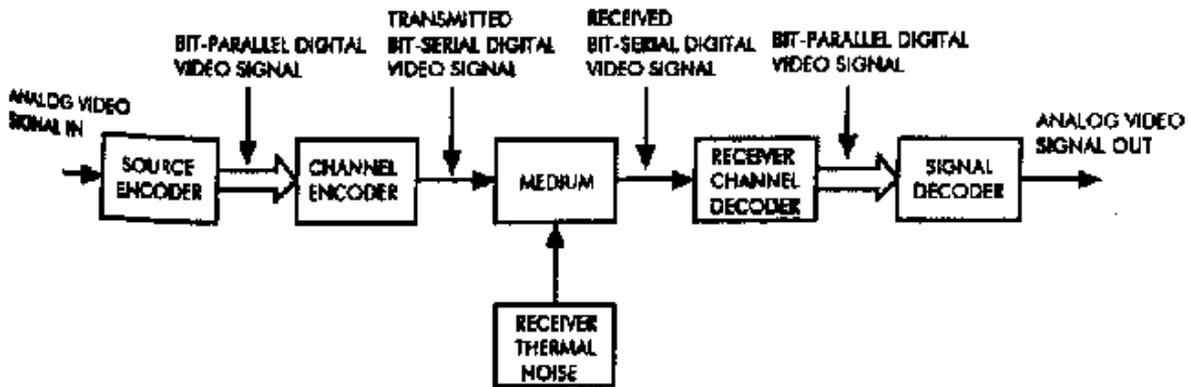
Figura 25. Representación en código BMC



2.4 Distribución serial y multiplexación de datos

Los avances en la tecnología han permitido que sea efectivo utilizar distribución serial de bits, para transmitir las señales de televisión. Todos los datos de audio y video digital pueden ser transmitidos a través de un único cable coaxial. En la siguiente figura se muestra un diagrama de bloques de la transmisión serial de bits de video digital. La fuente es un convertidor A/D, en cuya salida se obtienen los bits en forma paralela. El codificador de canal transforma los bits de paralelo a serial además de codificar los “unos” y “ceros” de la forma más conveniente, dependiendo del canal a utilizar (cable coaxial, por ejemplo). El decodificador es un DAC el cual recupera la señal de video original.

Figura 26. Modelo de distribución de video en forma serial.



Fuente: Michael Robin y Michel Poulin.
 Digital Televisión Fundamentals.
 Pàgina 283.

La tasa de transmisión de bits es

Tasa bit-serial (Mbps) = Tasa bit-paralelos (M palabras/s X número de bits por palabra)

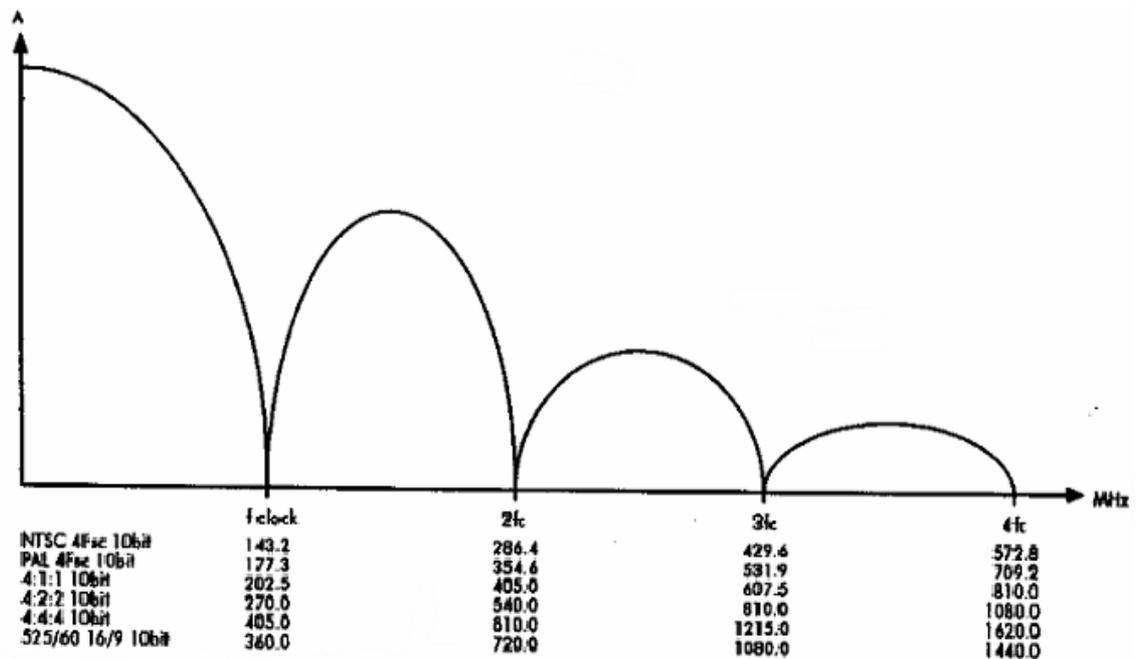
Para un esquema 4:2:2 tendríamos

Tasa bit-serial = 27 M palabras/s X 10 bits/palabra = 270 Mbps

Para $4f_{SC}$ la tasa de transmisión serial es nominalmente de 143 Mbps para NTSC y 177 Mbps para PAL.

En la figura 27 se muestra el espectro para señales televisión digital cuando son transmitidas en forma serial. El espectro es el una codificación NRZ y tiene puntos nulos (ceros) a la frecuencia de muestreo y múltiplos de esta. Además, cabe mencionar que la transmisión bit-serial requiere un gran ancho de banda, el que puede utilizarse en un ambiente de estudio, pero para distribución mediante líneas terrestres, transmisores en aire o enlaces satelitales es necesario reducir la tasa de transmisión bit-serial dependiendo de las características del canal a utilizar.

Figura 27. Espectro de formato de transmisión bit-serial.



Fuente: Michael Robin y Michel Poulin.

Digital Televisión Fundamentals.

Pàgina 285.

3. COMPRESIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE SEÑALES DIGITALES

3.1 Concepto de video BRR (del inglés *Bit-Rate Reduction*, reducción de tasa de bit)

Los sistemas convencionales, como NTSC, PAL y SECAM realizan la compresión de video por medio de la reducción del ancho de banda de la señal que contiene la información de crominancia a 1.2 MHz o menos, aprovechando la reducida sensibilidad del ojo a las componentes de alta frecuencia en la señal de crominancia. Los formatos de video analógico se basan en el mismo principio. El formato estándar para video CCIR-601 4:2:2 especifica un ancho de banda de 5.75 MHz para la señal de luminancia, y 2.75 MHz para la señal de crominancia. Después de la digitalización se obtiene una tasa de bit de 270 Mbps, tal y como se menciona en el capítulo dos. Esta alta tasa de bits no es conveniente para el desarrollo de aplicaciones para el procesamiento de imágenes que sean de bajo costo y por lo tanto esta tasa debe ser reducida.

Los sistemas de compresión de información de imagen se basan en las características psicovisuales del ser humano, eliminando los datos innecesarios de las señales de video, es decir, removiendo toda aquella información que el ojo humano no puede detectar y por lo tanto se convierte en un consumo inútil de ancho de banda.

3.1.1 Redundancia en video y entropía

Todas las posibles señales reales se pueden dividir en señales previsibles o señales no previsibles o ruidos. Una buena forma de aprovechar el ancho de banda es evitar retransmitir la información redundante, es decir, se trata no gastar recursos en las señales previsibles, dado que estas no contienen información. En esta sección trataremos sobre la redundancia espacial, temporal y entropía.

3.1.1.1 Redundancia estadística

Todas las imágenes contienen una gran cantidad de valores de información idénticos. Si no se contara con la reducción de datos, todos los datos idénticos serían repetidos para reconstruir todas las áreas idénticas en una imagen dada. Los datos redundantes existen dentro de áreas amplias de la misma imagen (redundancia espacial) y también entre las secuencias de imágenes (redundancia temporal). Los sistemas de compresión aprovechan que los datos idénticos no necesitan ser repetidos y transmitidos. Por ejemplo, el cielo azul en un programa, muestra una gran cantidad de información idéntica, que puede ser codificada una vez y repetida cuantas veces sea necesaria sin necesidad de retransmitirla. El proceso por el cual se identifican los valores de los píxeles dentro de una trama, o dentro de una secuencia de tramas, se conoce como correlación de datos. Un buen ejemplo de correlación de datos es el esquema de la transformada de coseno discreto (DCT), la cual concentra la mayor parte de la energía en los coeficientes de bajo orden.

3.1.1.2 Redundancia psicovisual

Los valores de las muestras digitalizadas en una imagen no son igualmente percibidos por el sistema visual humano (HVS). Si el HVS no es capaz de notar un error, este error no afecta la calidad percibida de la imagen. Consecuentemente, algunos valores de la muestra pueden ser alterados, o inclusive removidos sin afectar la calidad de imagen notada por el televidente.

3.1.1.3 Entropía

La entropía es una medida del promedio de información contenido en una imagen (en este caso) que será digitalizada. La ocurrencia de un evento menos probable (un valor binario en este caso) provee más información que la ocurrencia de un evento más probable. Por lo tanto, podemos decir que la entropía define la dificultad que puede tenerse para codificar una imagen.

Basándose en la entropía, se puede desarrollar un código que nos permita optimizar el ancho de banda, por ejemplo, el código Huffman el cual es un código utilizado cuando se conoce el tipo de información entrante. La probabilidad de diferentes valores codificados para ser transmitidos es estudiada y los códigos más frecuentes son preparados para ser transmitidos con las palabras más cortas. Cuanto menos probable un código puede ser transmitido, es más probable que tenga una palabra larga.

3.2 Técnicas de reducción de datos

Las técnicas de compresión de señales buscan obtener la transmisión y el almacenamiento de datos digitales de la forma más efectiva posible consiguiendo el más alto rendimiento al menor costo.

Los sistemas de compresión de datos son una combinación de varias herramientas (técnicas de procesamiento) usadas para reducir la tasa de bit de las señales digitales a un valor que no afecte la calidad de la señal para una aplicación dada.

Muchas técnicas de reducción de datos han sido desarrolladas pero solo unas pocas son convenientes para aplicaciones de video. Estas técnicas pueden clasificarse en dos grupos, las que utilizan una razón de compresión moderada (menos que 2:1) con lo que permiten la recuperación total de la información original después de la descompresión, conocidas como técnicas "Lossless", y las que utilizan razones de compresión muy altas (desde 2:1 hasta 100:1) resultando en una pérdida de datos y degradación de la imagen después de la descompresión, conocidas como técnicas "Lossy". Entre las técnicas de compresión de datos sin pérdidas (Lossless) tenemos:

- Código de longitud variable (VLC): También conocido como codificación Huffman o codificación por entropía. Esta técnica se basa en la probabilidad de identificar valores con amplitud idéntica y asignar una palabra corta a los valores con alta probabilidad de

ocurrencia, es decir, asignando pocos bits para representar los valores con probabilidad alta, y una palabra larga a los demás valores.

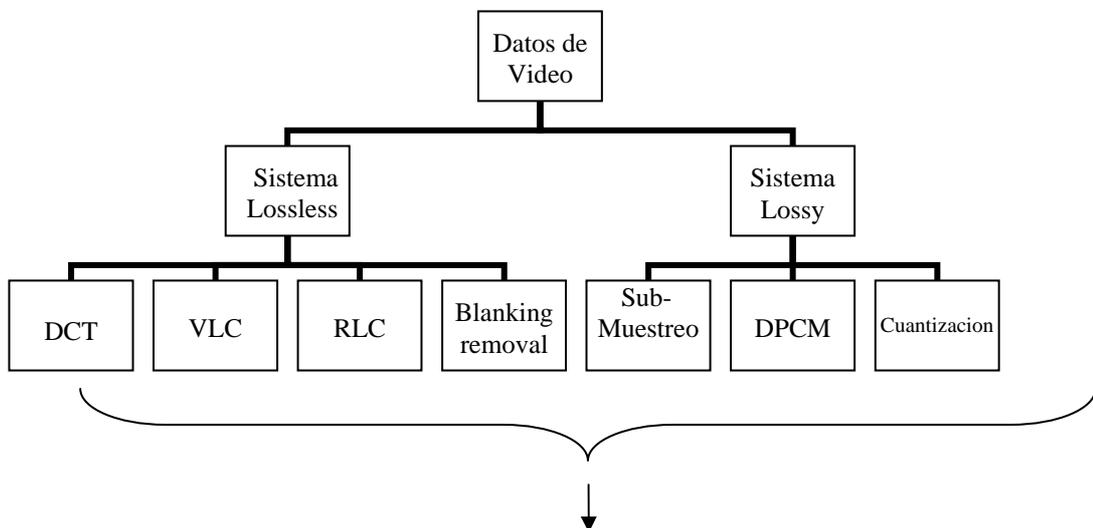
- La compresión RLC o *Run-length coding*, la cual es una forma muy simple de compresión de datos en la que secuencias de datos con el mismo valor son almacenadas como un único valor más su recuento. Esto es más útil en datos que contienen muchas de estas "secuencias"; por ejemplo, gráficos sencillos con áreas de color plano, como iconos y logotipos, pero es necesario mencionar que no funciona tan bien en imágenes donde varía constantemente el color de los píxeles como fotografías, aunque JPEG lo utiliza de forma efectiva en los coeficientes que quedan después de transformar y cuantificar bloques de imágenes.
- Removiendo el área de borrado, con lo que se logra la reducción de la cantidad de bits utilizados para el área activa de la imagen. Las señales de borrado horizontal y vertical no son transmitidas, en su lugar se envía una señal corta de sincronización.
- Transformada de Coseno Discreto (DCT), esta es una técnica de compresión de datos sin pérdidas al utilizar palabras de coeficientes de 13 o 14 bits para una entrada de video de 8 bits por muestra, si se utilizan 11 o menos bits, esta técnica si produce perdidas. En la siguiente sección se estudia con más detalle esta técnica.

Entre las técnicas que si producen perdidas, podemos mencionar:

- Sub-muestreo, esta técnica produce perdidas en la resolución de la imagen y *aliansig*, por lo que no se aplica a la señal de luminancia.
- Modulación diferencial de código de pulso (DPCM). Esta es una técnica predictiva, en la que se transmite la diferencia entre muestras consecutivas y no se transmiten las muestras completas.

La figura 28 se muestra, en forma resumida, las técnicas de reducción de datos que son utilizadas para generar las señales JPEG (del inglés, *Joint Photographic Expert Group*) y MPEG (del inglés, *Moving Pictures Expert Group*).

Figura 28. Resumen de las técnicas que son combinadas para generar los esquemas JPEG y MPEG.



JPEG

MPEG-1

MPEG-2

3.3 Proceso de codificación DCT

El esquema de DCT procesa valores de bloques de datos de píxel dentro de bloques de coeficientes en el dominio de la frecuencia. La energía de la imagen de vídeo tiene una frecuencia espacial bastante baja, que varía lentamente con el tiempo. Por tanto una transformada puede concentrar la energía en muy pocos coeficientes. Para esta transformada la imagen actual

se divide en bloques para decrementar la complejidad. Todos los bloques (8x8) son transformados de acuerdo con una Transformada Discreta del Coseno (DCT) de dos dimensiones que puede ser considerada como una DCT unidimensional en las columnas y otra en las filas. A cada coeficiente se le asocia una función específica de frecuencias horizontales y verticales, y su valor (después de la transformación) indica la contribución de estas frecuencias al bloque de la imagen. Sin embargo, la DCT no reduce el número de bits que se requieren para la representación del bloque. Esta reducción se hace después de comprobar que la distribución de los coeficientes no sea uniforme. La transformada concentra la mayor parte de la energía de vídeo en las bajas frecuencias provocando que la mayoría de los coeficientes sean cero o casi cero. Se consigue la compresión saltándose todos los coeficientes que están cerca de cero y cuantificando los restantes (se cuantifican los coeficientes con un número finito de bits pudiendo producirse pérdidas de compresión).

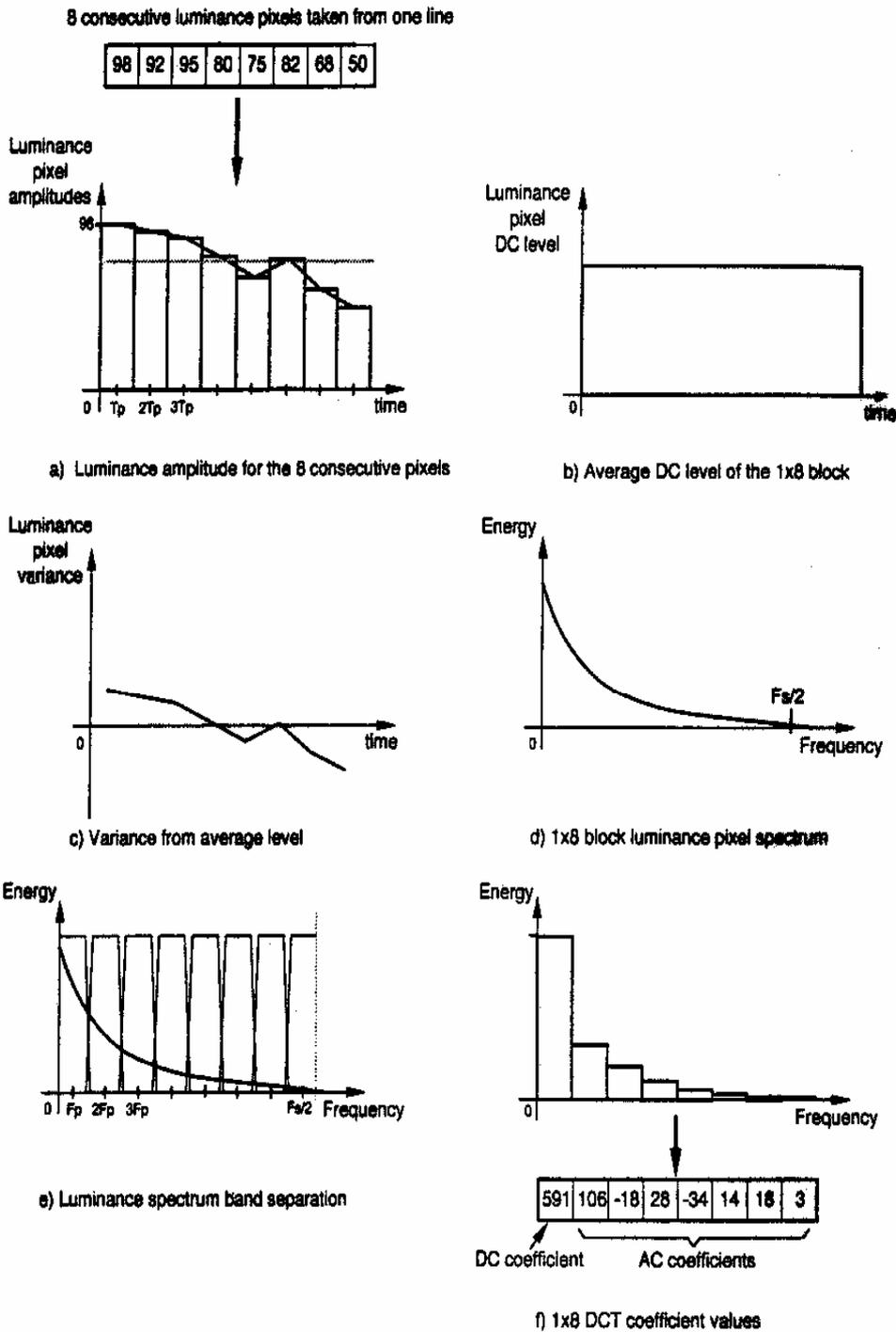
Las ventajas de la DCT son la gran compactación de coeficientes (el resultado es normalmente un número reducido de coeficientes), además se utilizan algoritmos de cálculo rápido y es una transformada real. Las desventajas son la introducción de un ruido granular (al cuantificar los coeficientes), la pérdida de resolución y el efecto bloque (al aplicar la DCT sobre bloques y no sobre la imagen global se pueden independizar los bloques entre sí y se observa la separación que existe entre ellos).

Con ayuda de la figura 29 analizaremos más detenidamente el sistema DCT, en la cual se puede observar como se aplica la codificación DCT en forma unidimensional para ocho píxeles consecutivos de luminancia, tomados de una imagen digitalizada a razón de muestreo 4:2:2. En la figura a) se muestra la amplitud de los ocho píxeles consecutivos. Su correspondiente nivel de CD promedio se muestra en la parte b) y c). El espectro mostrado en la figura d) representa el cambio de amplitud (varianza) a lo largo de los ocho píxeles en el rango desde 0 Hz hasta un medio de la frecuencia de muestreo ($F_s=6.75$ MHz). Este espectro de diferencia de amplitud es separado en 8 bandas de frecuencia obteniendo

ocho valores de coeficientes que indican la energía que tiene la forma de onda en cada una de las bandas de frecuencia. En las figuras e) y f) se muestra la separación en bandas del espectro de luminancia y los valores de los coeficientes respectivos para cada banda. El primer coeficiente a la izquierda, representa el promedio del nivel de CD de la forma de onda. De izquierda a derecha, los otros coeficientes indican las más alta componente de frecuencia espacial (entiéndase por frecuencia la cantidad de veces que una muestra se repite) llamado coeficiente AC. Cuando la redundancia espacial es alta en una imagen, muchos de estos coeficientes AC son cercanos o iguales a cero.

Para permitir una mejor exploración de la imagen, se utiliza una DCT bidimensional a lo largo de ambos ejes (horizontal y vertical) aplicándose a bloques de luminancia de 8X8. A cada bloque se le asigna un número, empezando desde la esquina superior izquierda, y el valor de este depende del valor promedio de CD para cada píxel.

Figura 29. DCT de una dimensión.



Summary of 1-Dimensional DCT coding (Courtesy of Sony Corporation).

Fuente: Michael Robin y Michel Poulin.
 Digital Televisión Fundamentals.
 Pàgina 356.

En el estándar JPEG el proceso FDCT (*forward* DCT) es definido como:

$$F(u,v) = \frac{C(u)C(v)}{4} \sum_{j=0}^7 \sum_{k=0}^7 f(j,k) \cos\left(\frac{(2j+1)u\pi}{16}\right) \cos\left(\frac{(2k+1)v\pi}{16}\right) \quad 3.3.1$$

Donde $f(j,k)$ = la muestra original de 8X8 pixeles de luminancia

$F(u,v)$ = coeficientes de la transformada de los 8X8 pixeles

U = la frecuencia horizontal normalizada ($0 < u < 7$)

V = la frecuencia vertical normalizada ($0 < v < 7$)

$$C(u), C(v) = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{si } u, v = 0 \quad 3.3.2$$

$$C(u), C(v) = 1 \quad \text{si } u, v = 1, 2, \dots, 7 \quad 3.3.3$$

Para el primer coeficiente, la frecuencia normalizada u y v es igual a cero. Entonces este coeficiente es llamado coeficiente de DC.

$$F(0,0) = \frac{1}{8} \sum_{j=0}^7 \sum_{k=0}^7 f(j,k) \quad 3.3.4$$

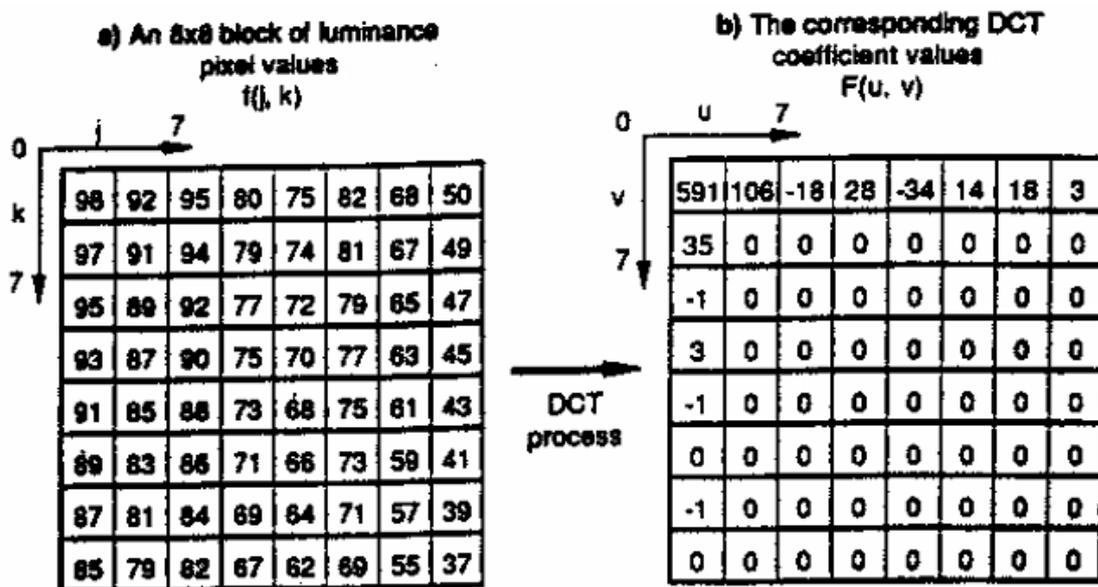
Esta ecuación realiza la sumatoria de todos los valores de los pixeles en el bloque 8x8, luego divide esta suma dentro de 8.

Quando el proceso DCT es aplicado a señales digitales como Y , C_B y C_R , las señales de crominancia C_B y C_R tienen una amplitud máxima de ± 128 valores binarios, en un sistema de muestreo de 8 bits, mientras que la señal de luminancia Y tiene un rango máximo de 0 a 255 valores binarios. Para simplificar el diseño de codificadores de DCT, la señal Y es limitada, esto se

logra restándole un valor de 128 a cada píxel, esto con el fin de obtener un rango máximo igual a el que tienen las señales de crominancia. En el decodificador se agregan los mismos 128 valores para reconstruir la señal Y.

En la figura 30 se muestra un ejemplo del proceso DCT aplicado a un bloque de pixeles de luminancia. Los valores de los pixeles fueron fijados a 128 para facilitar la codificación de las tres componentes de video. Como regla general, una alta variación de píxel en píxel, ya sea en forma horizontal, vertical o diagonal, generara altos valores de coeficientes en el bloque DCT.

Figura 30. Ejemplo de formación del bloque DCT 8X8



Fuente: Michael Robin y Michel Poulin.
 Digital Televisión Fundamentals.
 Página 360.

El proceso DCT no reduce la razón de datos y es totalmente reversible. La DCT inversa (IDCT) reconstruye exactamente los valores originales de los píxeles.

3.4 Representación del color

Según la primera ley de Grassmann toda sensación de color se puede obtener por suma de tres fuentes de colores denominadas primarias y que son rojo, verde y azul. Uno de los conceptos importantes introducidos que permitió el avance en los sistemas de vídeo fue separar la luminancia de la crominancia. Inicialmente el NTSC (EE.UU) definió la transmisión de las señales en un formato de luminancia y crominancia (antes se utilizaba un formato que utilizaba los tres componentes de color). El nuevo espacio de color se denominó YIQ, donde las letras representan la luminancia, la componente en fase de la crominancia y la componente en cuadratura de la cromina, respectivamente. Posteriormente el PAL y el SECAM, europeos, optaron por un espacio de colores idéntico pero con una rotación de 33 grados. Es el denominado espacio YUV. El equivalente digital de YUV es el YCbCr, donde Cb es la componente de crominancia que corresponde con la componente U y la Cr es análogo a V. El formato YCbCr, concentra la mayor parte de la información de la imagen en la luminancia y menos en la crominancia. El resultado es que los elementos de Y Cb Cr, están menos correlacionados y pueden ser codificados por separado. Otra ventaja que se consigue es la reducción de la velocidad de transmisión de las componentes de crominancia. El algoritmo de MPEG estrictamente especifica el espacio de colores Y, Cb, Cr, no el YUV ni el YIQ ni cualquier otro.

3.5 Estándares de compresión de video

3.5.1 JPEG

El estándar JPEG (*Joint Photographic Experts Group*) es un algoritmo diseñado para comprimir imágenes con 24 bits de profundidad o en escala de grises. JPEG es también el formato de fichero que utiliza este algoritmo para comprimir imágenes. JPEG sólo trata imágenes fijas, pero existe un estándar relacionado llamado MPEG para videos. El formato de archivos JPEG se abrevia frecuentemente JPG debido a que algunos sistemas operativos sólo aceptan tres letras de extensión. JPEG es un algoritmo de compresión con pérdida. Esto significa que al descomprimir la imagen no obtenemos exactamente la misma imagen que teníamos antes de la compresión.

Una de las características que hacen muy flexible el JPEG es el poder ajustar el grado de compresión. Si especificamos una compresión muy alta se perderá una cantidad significativa de calidad, pero obtendremos ficheros de pequeño tamaño. Con una tasa de compresión baja obtenemos una calidad muy parecida a la del original, y un fichero mayor. Esta pérdida de calidad se acumula. Esto significa que si comprime una imagen y la descomprime obtendrá una calidad de imagen, pero si vuelve a comprimirla y descomprimirla otra vez obtendrá una pérdida mayor. Cada vez que comprima y descomprima la imagen esta perderá algo de calidad.

El formato de ficheros JPEG o JPG fue creado por un grupo independiente, llamado JFIF (JPEG File Interchange Format), quienes se encargan sólo de la utilización del algoritmo JPEG para almacenar imágenes. Existen otros formatos de fichero que también utilizan el algoritmo JPEG, el más conocido de ellos es JNG. JPEG/JFIF es el formato más utilizado para almacenar y transmitir archivos de fotos en la Web. Pero la compresión con pérdida del formato no conviene a diagramas que incluyen textos y líneas.

El algoritmo de compresión JPEG se basa en dos defectos visuales del ojo humano, uno es el hecho de que es mucho más sensible al cambio en la luminancia que en la crominancia, es decir, notamos más claramente los cambios de brillo que de color. El otro es que notamos con más facilidad pequeños cambios de brillo en zonas homogéneas que en zonas donde la variación es grande, por ejemplo en los bordes de los cuerpos.

3.5.2 MPEG-1

MPEG-1 es el nombre de un grupo de estándares de codificación de audio y vídeo normalizados por el grupo MPEG (Moving Pictures Experts Group). *MPEG-1 video* se utiliza en el formato Video CD. La calidad de salida con la tasa de compresión usual usada en VCD es similar a la de un cassette video VHS doméstico. Para el audio, el grupo MPEG definió el *MPEG-1* de capa de audio 3 (*audio layer 3*) más conocido como MP3.

MPEG-1 está conformado por diferentes partes:

1. Sincronización y transmisión simultánea de vídeo y audio.
2. Códec (codificador – decodificador) de compresión para señales de vídeo no entrelazadas.
3. Códec de compresión para señales de audio con control sobre la tasa de compresión. El estándar define tres *capas* (layers en inglés), o niveles de complejidad de la codificación de audio MPEG.
 1. MP1 o MPEG-1 Parte 3 Capa 1 (MPEG-1 Audio Layer 1)
 2. MP2 o MPEG-1 Parte 3 Capa 2 (MPEG-1 Audio Layer 2)
 3. MP3 o MPEG-1 Parte 3 Capa 3 (MPEG-1 Audio Layer 3)
4. Procedimientos para verificar la conformidad.
5. Software de referencia.

(Referencia: ISO/IEC JTC1/SC29/WG11)

3.5.3 MPEG-2

El estándar MPEG-2 es una extensión del estándar MPEG-1. Para una imagen de televisión estándar (704 x 576 pixels) y un *frame rate* (velocidad a la cual las imágenes salen en la decodificación) típico de 25Hz, MPEG-2 está diseñado para proporcionar televisión de alta calidad con una razón de bit entre 4-9Mb/s. MPEG-2 fue diseñado para proporcionar codificación de vídeo de alta calidad apropiado para transmisión sobre redes de computadores. De hecho MPEG-2 es el principal protocolo de compresión utilizado sobre conexiones DBS. Este estándar de compresión de vídeo y audio es capaz de explotar redundancias espaciales y temporales, consiguiendo ratios de compresión de hasta 200:1 y además siendo capaz de codificar una fuente de vídeo y/o audio con casi cualquier nivel de calidad.

3.5.3.1 Principios de codificación

Una secuencia de vídeo tiene tres tipos de redundancia que un esquema de codificación necesita explotar en orden de conseguir una muy buena compresión:

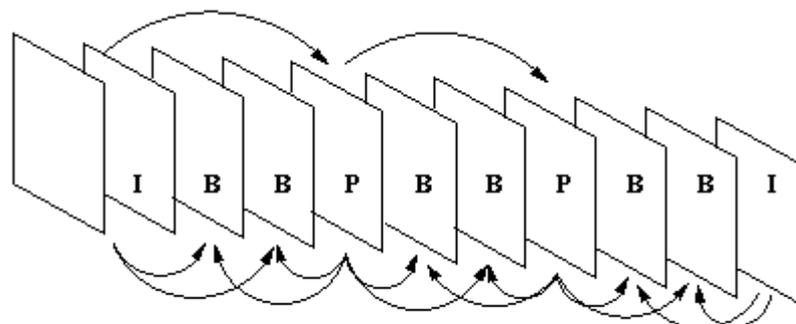
- Espacial
- Temporal
- Psicovisual

Las redundancias espaciales y temporales ocurren porque los valores de los *pixels* no son completamente independientes si no que están correlacionados con los valores de los pixeles vecinos, tanto en espacio como en tiempo (es decir, dentro de una misma trama o con las tramas anterior y/o posterior). Por ello diremos que sus valores pueden ser predichos en cierta medida. Por otra parte, la redundancia psicovisual tiene que ver con las limitaciones físicas del ojo humano, que tiene una limitada respuesta para fijarse en los detalles espaciales y es menos sensitivo al

distinguir detalles en las esquinas o los cambios rápidos. Por tanto, el proceso de codificación puede ser capaz de minimizar la razón de bit mientras se mantiene constante la calidad a la que el ojo humano ve la imagen decodificada.

El sistema de compresión MPEG-2 (al igual que MPEG-1) utiliza la Transformada Discreta del Coseno(DCT) y codificación entrópica para transformar un bloque de pixels en códigos de longitud variable (VLC). Los bloques son la mínima unidad de codificación en el algoritmo MPEG. Están compuestos de pixels de 8x8 y pueden ser de tres tipos: luminancia (Y), componente rojo de la crominancia Cr y el componente azul de la crominancia Cb. Mediante la DCT los bloques adquieren la forma de VLC, que no son más que la representación de de los coeficientes cuantificados de la DCT. Los codificadores MPEG-2 producen tres tipos de de imágenes: fuera de trama (o imágenes I), imágenes entre tramas causales (o imágenes P) e imágenes entre tramas bidireccionales (o imágenes B). La relación entre estos tres tipos de tramas se puede ver en la Figura 31.

Figura 31. Relación entre tipos de trama



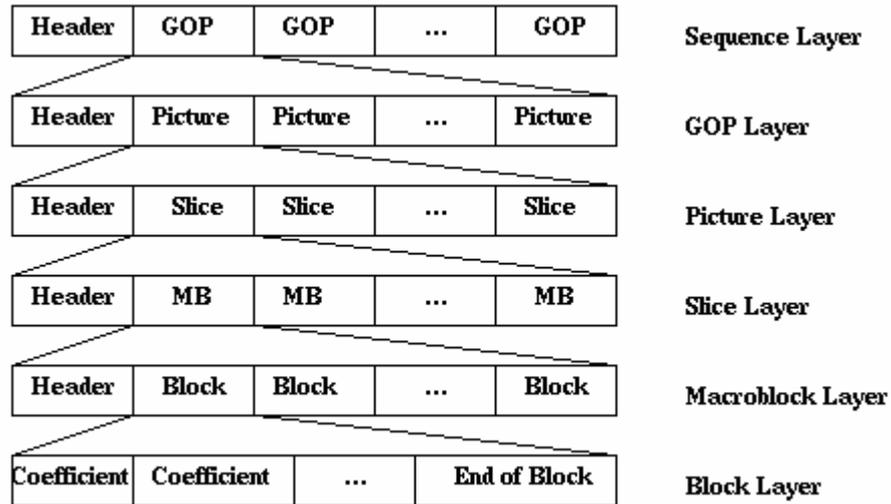
- Las imágenes I: Se codifican como si fuesen imágenes fijas utilizando la norma JPEG, por tanto, para decodificar una imagen de este tipo no hacen falta otras imágenes de la secuencia, sino sólo ella misma.

No se considera la redundancia temporal (compresión *intraframe*). Se consigue una moderada compresión explotando únicamente la redundancia espacial. Una imagen I siempre es un punto de acceso en el flujo de bits de vídeo. Son las imágenes más grandes.

- Las imágenes P: Están codificadas como predicción de de la imagen I ó P anterior usando un mecanismo de compensación de movimiento. Para decodificar una imagen de este tipo se necesita, además de ella misma, la I ó P anterior. El proceso de codificación aquí explota tanto la redundancia espacial como la temporal.
- Las imágenes B: Se codifican utilizando la I ó P anterior y la I ó P siguiente como referencia para la compensación y estimación de movimiento. Para decodificarlas hacen falta, además de ellas mismas, la I ó P anterior y la I ó P siguiente. Estas imágenes consiguen los niveles de compresión más elevados y por tanto son las más pequeñas.
- Existen otro tipo de imágenes llamadas imágenes *intraframe* de baja resolución (o imágenes D) que son de las mismas características que las I pero con menos resolución. Se usan en aplicaciones que no necesitan gran calidad, como el avance rápido.

Las imágenes desde una imagen I hasta la siguiente forman un grupo de imágenes (GOP). Los componentes de un GOP están dibujados en la Figura 32.

Figura 32. Componentes de MPEG GOP



Las imágenes son generadas por el codificador MPEG-2 generando en primer lugar los bloques 8x8, de luminancia o crominancia. Los bloques de luminancia se combinan en grupos de cuatro, los cuales, cuando se combinan con la información asociada de crominancia para la correspondiente región de la imagen forman macrobloques, que son de 16x16 pixels. Los macrobloques adyacentes son agrupados en una tajada (*slice*). Una imagen está compuesta por un grupo de números de tajadas precedidas por una cabecera de imagen. De igual forma, una tajada está compuesta de un número de macrobloques precedidos de una cabecera de tajada. Cada macrobloque también comienza con una cabecera, que contiene información de la ubicación del macrobloque (en inglés, *MB adress*) y vectores de movimiento utilizados en predicción con compensación de movimiento. En el primer macrobloque de cada tajada, la dirección macrobloque y el vector de movimiento son codificados absolutamente. En cada uno de los restantes macrobloques de la tajada, estos parámetros son codificados diferencialmente con respecto a los correspondientes valores del macrobloque inmediatamente anterior.

El nivel de sistema de MPEG-2 (*Systems Layer*) describe un método estándar para multiplexar y demultiplexar secuencias de media (audio, vídeo y secuencias de datos) y un mecanismo, que utilizando sellos temporales consigue mantener una sincronización entre varias secuencias dentro de la red. El nivel de sistema de MPEG-2 permite que varias secuencias de audio y vídeo se combinen para formar una única secuencia de salida. El MPEG Systems Layer puede adquirir dos formas:

- Secuencia de Programa (*PS*, de inglés, *Program stream*): Esta basado en la estructura de multiplexación establecida por el MPEG-1 y pretende que se utilice para un canal de vídeo, y audio y datos asociados. Está optimizado para su uso en aplicaciones de multimedia y es compatible con MPEG-1.
- Secuencia de Transporte (*TS* del inglés, *Transport Stream*): Este tipo de multiplexación es nuevo del MPEG-2. Consiste en pequeños paquetes de transporte de longitud fija, cada uno de exactamente 188 bytes de tamaño con 4 bytes de información de cabecera. El TS está pensado para el transporte de media donde los errores o pérdidas de bits son más frecuentes. Puede soportar múltiples programas ejecutados simultáneamente.

Con el fin de generar cualquiera de las dos multiplexaciones, una secuencia de vídeo se fragmenta en una cadena de imágenes codificadas, denominadas unidades de acceso. Una unidad de acceso de MPEG representa una imagen I, P o B codificada y es variable en tamaño, dependiendo del nivel de compresión conseguido para la imagen. Una sucesión de unidades de acceso de vídeo de longitud variable se denomina secuencia elemental de vídeo. La secuencia elemental de vídeo se convierte en una secuencia elemental de paquetes (*PES*, del inglés, *Packetized Elementary Stream*) agrupando datos sucesivos de un número de secuencias elementales formando la carga útil de una cadena de paquetes. Se añade además una cabecera a cada paquete.

Los PES pueden ser de cualquier tamaño hasta 64 KB. Las secuencias de PES pueden almacenarse o transmitirse tal como son, aunque habitualmente son convertidas en secuencias de transporte o secuencias de programa.

En redes híbridas se utiliza por norma general la secuencia de transporte. Los paquetes de PES se cargan en los paquetes de transporte de forma que el primer byte de un paquete PES es el primer byte de carga útil del paquete de transporte y que un único paquete de transporte puede llevar datos de un PES.

La secuencia de transporte proporciona las siguientes funciones:

- Multiplexación orientado a paquetes: Proporciona la capacidad de multiplexar varias secuencias de entrada (ej. audio, vídeo, o datos privados) en un único canal de salida.
- Silenciador de errores: Proporciona ciertas características que asisten al decodificador que recibe datos erróneos que habían sido introducidos en la transmisión o en el almacenamiento.
- Sincronización: Se consigue utilizando sellos temporales que pueden ser utilizados para la gestión del buffer y para la sincronización entre secuencias.

3.5.3.2 Sincronización entre secuencias elementales

En el receptor, un demultiplexador separa los paquetes de una secuencia de transporte o de una secuencia de programa en las secuencias elementales. Las unidades de acceso de cada secuencia elemental son almacenadas en unos buffers FIFO esperando a ser decodificadas. Se usan sellos temporales cuando un decodificador debe decodificar un unidad de acceso en particular. Existe un reloj muy preciso tanto en el multiplexador como en el receptor. Los sellos temporales son insertados en las unidades de acceso en el multiplexador y especifican el tiempo exacto en el cual la unidad de acceso ser decodificada en el receptor.

Por lo tanto, el multiplexador crea sellos temporales basados en el tiempo actual más un pequeño *offset* que permita un determinado retardo en la transmisión.

Dos sellos temporales, el sello de *presentation video-conferencing time stamp* (PTS) y el *decoder time stamp* (DTS), están incluidos en la cabecera del paquete de PES. Éstos indican al decodificador cuando mostrar la información decodificada al usuario y cuando decodificar la información de los buffers de decodificación, respectivamente. Los relojes entre el codificador y el decodificador deben estar también sincronizados. Esta tarea se lleva a cabo a través de la utilización de referencias del reloj de programa (PCR: *Program Clock References*). Un PCR puede ser insertado en un paquete de TS (de transporte) en un campo justo después de su cabecera. Los PCRs son insertados en intervalos regulares para mantener la sincronización entre el codificador y el decodificador.

3.5.3.3 Errores

Para proporcionar vídeo de una calidad aceptable al usuario, la red debe proporcionar cierto nivel de servicio. Variabilidad en el retardo de células (CDV: del inglés, *Cell Delay Variation*), errores de bit y pérdida de células tienen severos efectos en la calidad del flujo de vídeo recibido. Un enlace de transmisión con una tasa de error de bit de 10^{-5} sería aceptable para una transmisión de información en tiempo no real, con algún tipo de algoritmo de corrección de errores. En un flujo de información de vídeo, esta tasa de error causaría una seria degradación de la calidad del vídeo recibido. Vamos a ver con más detalle los problemas que causan la degradación de la calidad de servicio en la transmisión de multimedia.

- Variabilidad en el retardo de células (CDV): También llamado jitter, tiene un impacto significativo en la calidad de un flujo de información de vídeo. Los sistemas de vídeo de MPEG-2 usan un reloj de sistema de 27MHz en el codificador y en el decodificador. Estos relojes permiten sincronizar los flujos de información de vídeo y audio,

también regulan la recuperación de las imágenes del buffer de decodificación para evitar situaciones de sobrecarga o de baja carga. Para mantener el codificador y el decodificador permanentemente sincronizados entre sí, el codificador introduce periódicamente referencias del reloj de programa (PCR) en la secuencia de transporte. El *jitter* en los PCRs se propaga al reloj de sistema que además se utiliza en otras funciones temporales en el decodificador. Esto resulta en la degradación de la calidad de la imagen.

- Tasa de error de bit (BER, del inglés, *Bit Error Rate*) : Los flujos de información de vídeo son altamente susceptibles a la pérdida de calidad debido a los errores de bits. El método de codificación de MPEG-2 lo hace susceptible a pérdida de calidad debido a errores de bits. Cuando ocurre un error de bit, ese error que se produce en una célula puede propagarse tanto espacialmente como temporalmente por la secuencia de vídeo. Los errores espaciales ocurren porque los códigos de longitud variable (VLC) que forman los bloques y las rebanadas están codificadas diferencialmente y utilizan los vectores de movimiento de un VLC anterior. Si se pierde un VLC entonces ese error se propaga hasta el siguiente punto de codificación absoluta. La propagación temporal de errores ocurre durante la predicción hacia delante y predicción bidireccional de las imágenes P y B hasta que la siguiente imagen I ocurre. Por ejemplo un error en una imagen I se propaga a la imagen B anterior y a todas las B y P posteriores hasta la siguiente I.
- Tasa de pérdida de células (CLR, del inglés *Cell Bit Loss*): La pérdida de células también juega un papel crítico en la calidad del flujo de información decodificada de vídeo. La tasa de pérdida de células puede depender de un número de factores, incluyendo el medio físico utilizado, la técnica de conmutación, el tamaño del buffer de conmutación, el número de conmutadores atravesados en la

conexión, la clase de QoS (del inglés, *Quality of Service*, Calidad de Servicio) utilizada para el servicio, y si el flujo de información de vídeo es CBR (constante) o VBR (variable).

3.5.3.4 Corrección y silenciamiento de errores

La corrección de errores es más difícil para información en tiempo real que para información que no requiere tiempo real. La naturaleza de tiempo real de los flujos de información de vídeo indica que no pueden tolerar los retardos que están asociados a las técnicas de corrección de errores de las retransmisiones tradicionales. Por esta razón ARQ (esperar un reconocimiento o un *timeout* para retransmitir una imagen) no es útil para corregir errores en vídeo.

El FEC (del inglés, *Forward Error Correction*) es una técnica de corrección de errores más utilizada. FEC toma un conjunto de símbolos que representan la información a la entrada y les añade redundancia, produciendo unos símbolos de salida, diferentes y más grandes. FEC permite recuperar la información perdida pero a costa de requerir un ancho de banda mayor en la transmisión. Este tráfico añadido puede introducir congestión adicional en la red, provocando un mayor número de células perdidas.

Para conseguir silenciamiento de errores en la transmisión de vídeo utilizan tres tipos de métodos:

- Ocultación de errores: La ocultación de errores es un método utilizado para reducir la magnitud de los errores y las pérdidas de células en los flujos de información de vídeo. Estos métodos incluyen ocultación temporal, ocultación espacial, y ocultación por compensación de movimiento. En el primer tipo la información errónea de la imagen actual se reemplaza por la información sin errores de la imagen anterior. Para secuencias de vídeo donde hay poco movimiento en la

escena, este método puede ser bastante eficiente. La ocultación espacial hace una interpolación de la información que rodea a un bloque erróneo en la imagen. Este método es útil si la información no contiene un nivel muy alto de detalle. La ocultación por compensación de movimiento, que combina ocultación temporal y estimación de movimiento, mejora la ocultación. En esta técnica, los vectores de movimiento arriba y/o bajo el macrobloque perdido son utilizados para predecir el vector de movimiento del macrobloque perdido. Esto mejora la ocultación en las áreas con movimiento, pero es incapaz de ocultar errores en imágenes I pues éstas no tienen vectores de movimiento.

- Localización temporal: Un efecto significativo de la pérdida de células y los errores en los flujos de bits en la secuencia decodificada es la propagación de los errores. Como se ha explicado antes los errores en las imágenes I pueden propagarse a las P y B. También errores en las P se pueden propagar a las siguientes P y B. La localización temporal busca minimizar la propagación de errores de imagen a imagen en el dominio temporal proporcionando una temprana re-sincronización de las imágenes que se codifican diferencialmente. Hay dos formas de hacerlo. La primera consiste en mandar una nueva imagen I para reemplazar las imágenes P o B. La propagación de errores se detiene a expensas de transmitir más bits y por tanto reducir la eficiencia en la codificación. La otra forma es parecida, se introduce periódicamente un nuevo *slice* (tajada) intra-codificado (sin ninguna relación con otros *slices*), refrescando así un número de imágenes P.
- Localización espacial: La localización espacial agrupa aquellos métodos que intentan minimizar la propagación de los errores dentro de una imagen. Esto se consigue proporcionando una temprana re-sincronización de los elementos en el flujo de bits que se codifican

diferencialmente entre macrobloques. Esta re-sincronización tiene dos características. La primera es una indicación sin ambigüedades de la localización en el flujo de bits de macrobloques en los cuales la re-sincronización es posible. La segunda es codificar absolutamente las cantidades que normalmente estarían codificadas diferencialmente con respecto al macrobloque anterior para estos bloques de re-sincronización.

3.6 Concepto de audio BRR

Las señales PCM de audio son comúnmente usadas en TV, multimedia y en otras aplicaciones. Los televidentes, ahora están adquiriendo sistemas de audio multicanal, llamados “teatro en casa”, lo que requiere un mayor ancho de banda. Por ejemplo, un sistema de audio estéreo con 16 bits de resolución, muestreado a 48 kHz produce una razón de datos de audio de 1.54 Mbps, mientras que un sistema *surround* multicanal produce una tasa total de 4.5 Mbps. Por lo tanto, es necesario un sistema de compresión de datos para el almacenaje de material de larga duración, así como para contar con un buen aprovechamiento del ancho de banda.

3.7 Técnicas de reducción de datos de audio

Con el fin de reducir los datos de audio se utilizan algunas técnicas de codificación, para remover las señales de audio redundantes, es decir cuando no existe diferencia en muestras consecutivas, además se pueden aprovechar las características del sistema humano de percepción auditiva, para poder eliminar todo aquel contenido que sea inaudible.

Las principales técnicas de compresión de audio son:

- Predicción por codificación en el dominio del tiempo. Estas técnicas utilizan codificación diferencial. Una reducción de la tasa de bit puede utilizarse también para codificar y transmitir datos.
- Codificación por transformación en el dominio de la frecuencia. Estas técnicas utilizan bloques de muestras de audio en PCM, transformadas del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.

Algunas de las técnicas utilizadas permiten la recuperación de todos los bits de información. Entre estas tenemos las técnicas de algoritmos diferenciales, codificación entrópica y sistemas de bloques de punto flotante.

Además existen aquellas técnicas en las cuales si se pierde información, estas aprovechan las características del sistema humano de percepción auditiva, eliminando las componentes espectrales que no son audibles. Con estas técnicas se logran altas razones de compresión y reducción de datos, tales como 2:1 a 20:1.

3.8 Estándares de compresión de audio

3.8.1 Subsistema de audio MPEG-1

El estándar MPEG-1 (ISO/IEC 11172) fue desarrollado en 1991. El estándar MPEG-1 para audio define tres capas para la codificación de señales PCM, teniendo razones de muestreo de 32, 44.1 ó 48 kHz.

Con estas tres capas se puede trabajar con lo siguientes modos de operación:

- Modo monofónico
- Modo dual
- Modo *Stereo*
- Modo stereo unido (el cual aprovecha la correlación entre los canales estéreo).

3.8.2 Subsistema de audio MPEG-2

Un segundo estándar establecido en 1994 es el MPEG-2 (ISO/IEC 13818), el cual es una extensión del estándar MPEG-1. Entre las ventajas que presenta el MPEG-2 se tiene que este es capaz de codificar más de 6 canales, lo que permite un audio de alta calidad.

El estándar de audio MPEG-2 es compatible con MPEG-1, pero los decodificadores de MPEG-1 son capaces de decodificar solo los canales derecho e izquierdo del esquema MPEG-2.

4. TELEVISIÓN AVANZADA

El sistema estándar norteamericano de televisión (SDTV, del inglés, *Standard definition televisión*, televisión de definición estándar), mejor conocido como NTSC, en un futuro próximo será remplazado por un sistema de televisión digital (DTV, del inglés, *digital television*, televisión digital) basado en el estándar del Comité para el Sistema de Televisión Avanzada (ATSC, del inglés, *Advanced Televisión System Committee*). El término de televisión de alta definición (HDTV, del inglés, *High-definition television*, televisión de alta definición) fue introducido hace ya varios años, para definir un estándar de televisión analógica de alta calidad, descrito por el documento SMPTE 240 M, y luego por su representación digital, el cual se describe en el documento SMPTE 260 M.

El estándar de transmisión DTV utiliza procesamiento digital y compresión, para permitir una transmisión simultánea de varios programas diferentes, además permite una calidad de imagen, que dependería de la calidad del receptor, por lo que en algunos casos se contaría con una calidad (en el receptor) equivalente a la que se contaría en el estudio. Esto representa un cambio dramático, tanto para la industria de la producción y la transmisión, así como para el usuario final. Las nuevas tecnologías trajeron una gran flexibilidad en el uso de los diferentes formatos de imagen utilizando sistemas de compresión digital. Además, la industria de la computación se ve altamente beneficiada, debido a que la naturaleza digital de la información en este nuevo sistema de televisión, requiere de procesadores poderosos y veloces. Esa convergencia de tecnologías ha modificado totalmente el mundo de la televisión.

En América del Norte, el nuevo sistema de televisión ha sido estandarizado por el ATSC, mientras que en Europa, un consorcio de transmisión de video digital (DVB) definió varios estándares.

En 1973 la NHK (*Nippon Hoso Kyokai*) inicia el desarrollo de un sistema de 1125/60 líneas y cuadros. Al inicio de la década de los años 80 en El Japón (ITU-R año 1985) se define por primera vez la televisión de alta definición HDTV

(del inglés, High Definition TV). Mediante el proyecto Eureka EU95 (ITU.R-1987) se determina una norma Europea para dicho sistema. Los dos sistemas estandarizados al inicio de los `90 eran MUSE (del inglés, *Multiple-Sub-Nyquist Sampling Encoding*) de El Japón y MAC (del inglés, *Multiplexed Analogue Components*) en Europa contienen 1125 y 1250 líneas en cada cuadro respectivamente (el doble de las usadas en los sistemas NTSC y PAL/Secam). En 1984 los juegos olímpicos de USA fueron transmitidos por Japón en su norma MUSE. Japón había logrado una importante ventaja en TV de alta definición analógica, por ello la FCC de USA decidió en 1987 crear la comisión ATSC para asesorarla en televisión avanzada: formato HDTV y transmisión digital.

En 1993 se revisaron los resultados y la industria forma la Gran Alianza (GA, del inglés, *Grand Alliance*) que en 1994 selecciona los mejores elementos de las distintas propuestas presentadas en ATSC y los resultados se elevan en 1995 a la FCC. En 1997 la FCC tomó la decisión de pasar del sistema NTSC al ATSC-DTV (Digital Television) que incorpora el formato HDTV digitalizado en base al MPEG-2.

Para el mismo tipo de aplicación de radiodifusión en Europa se preparó la norma DVB (del inglés, *Digital Video Broadcast*, radiodifusión digital de video) basado también en MPEG-2 pero con diferente compresión de sonido y esquema de transmisión. El desarrollo de DVB se inició en 1993 y posee formato de 1920x1080 pixel. Esta norma dio por terminado el proyecto Eureka.

DTV incorpora varios procesos de compresión de imágenes derivados de MPEG-2, estimación de movimiento jerárquico, compensación de movimiento bidireccional. El canal de audio utiliza el sistema Dolby AC-3. Se utiliza la modulación VSB (del inglés, *Vestigial Side-Band*, banda residual) con codificación Trellis TCM y FEC del tipo Reed-Solomon. El objetivo de diseño ha sido ocupar la misma banda de 6 MHz que ocupaba NTSC con anterioridad.

4.3 Razones para cambiar de NTSC a DTV

Al crear programas con tecnología digital, se puede lograr una muy buena calidad de imagen en los procesos de los estudios de producción y post-producción, pero son codificados y transmitidos en formato NTSC, degradándose la imagen, esto debido a las limitaciones de ancho de banda que utiliza este formato, tal y como fue descrito en el capítulo 1, por lo que al tele-espectador se le entrega una calidad de imagen muy inferior a la que se tenía originalmente en el estudio.

El sistema NTSC fue desarrollado como un sistema de transmisión y luego fue introducido en los estudios de televisión para producción de programas. El sistema NTSC y sus respectivas señales de audio, son señales netamente analógicas, por lo que presentan notables deficiencias, las cuales provocarían que al recibirse la señal en los hogares se note interferencia, “fantasmas” y ruido. Estos inconvenientes se pueden evitar utilizando tecnología digital, dado que las fluctuaciones en el voltaje (ruido o interferencia) no resultan críticas en los sistemas digitales porque en ellos no es importante el valor exacto de un voltaje, siempre y cuando el ruido no sea lo suficientemente grande como para impedir la distinción entre ALTO y BAJO. En un sistema digital si hay suficiente ruido, simplemente no habrá imagen ni sonido en todo el receptor.

Desde sus orígenes, el mundo de la producción de TV a tratado de satisfacer las diferentes necesidades de los consumidores, tales como requerimientos de calidad y costos. En el diseño del nuevo sistema DTV, se cuenta con múltiples formatos que aseguran la suficiente flexibilidad para satisfacer las diferentes demandas del mercado, permitiendo que surjan diferentes formatos y estándares para los diferentes segmentos de mercado y

las distintas aplicaciones de video, dado que un único sistema no sería óptimo para todas las aplicaciones.

En resumen, las razones para cambiar a Televisión Digital son:

- Debido al mejor aprovechamiento del ancho de banda, se puede ofrecer mejor calidad de audio y video.
- Los sistemas digitales son menos sensibles al ruido, en comparación con los sistemas analógicos.
- El sistema de Televisión Digital es lo suficientemente flexible, lo que permite satisfacer las demandas de diferentes segmentos de mercado.

4.4 Estandarización

Los esfuerzos por alcanzar un único estándar mundial para producción iniciaron en 1982. Sin embargo, surgieron diferencias técnicas y políticas que hicieron que 200 participantes en un congreso de radiodifusión se retractaran de esa posición original. El sueño de un sistema único y universal se desvaneció. Los Estados Unidos, Japón y otros países adoptaron el sistema de 1.125 líneas y 60 campos. Muchos de los países con PAL y SECAM se fueron con un sistema de 1.250 líneas y 50 campos, esto debido a la frecuencia con la que se distribuye la energía eléctrica en los diferentes países, por ejemplo en Guatemala la distribución de energía eléctrica se realiza con una frecuencia de 60 Hz, por lo que al transformar la señal alterna en directa mediante un rectificador de media onda o de onda completa, podemos tener rizos en las fuentes de poder, que pueden ser de 60 o 120 Hz, respectivamente, para que cualquier rizo causado por un ligero decremento en el funcionamiento del filtro no cause distorsiones excesivas en la imagen, es necesario que la razón de cuadro este

armónicamente relacionada con la frecuencia con la que se distribuye la energía eléctrica, siendo en este caso, una razón de cuadro de 30 Hz y por lo tanto una razón de campo de 60 Hz.

Dada la imposibilidad de lograr un estándar único, ha sido necesario continuar trabajando con lo diferentes estándares ya establecidos, mientras la CCIR decidió enfocar sus esfuerzos en lograr establecer tantos parámetros comunes como sea posible, lográndose los siguientes acuerdos:

- Una común razón de datos (CDR) especificada en el estándar CCIR-601 (ahora conocido como ITU.R BT-601), en la cual se establece una frecuencia de muestreo de la señal de luminancia en 13.5 MHz y un número de 720 muestras por línea activa.
- Un común formato de imagen (CIF) el cual especifica las características espaciales para el sistema de área de imagen activa. Entre los elementos comunes tenemos, el número de muestras por línea activa y el número de líneas activas. Pero el número total de líneas, razón de muestreo y razón de la imagen, puede variar.

En DTT (del inglés, *Digital Terrestrial Television*, Televisión Digital Terrestre) existen, básicamente, tres estándares: ATSC de Estados Unidos, DVB-T en Europa y el ISDB-T en Japón. La ATSC desde un principio apostó por una televisión de superior calidad a la NTSC, pero utilizando para ello el ancho de banda del canal (6 MHz). En Europa se apostó por una televisión de calidad similar al PAL capaz de difundir datos (radio o Internet), y adecuada para una recepción móvil. En Japón se apuesta por la difusión jerárquica (HDTV, SDTV y datos) por el mismo canal. Por el momento, Estados Unidos es uno de los pocos países del mundo que difunde en HDTV y próximamente, lo hará Australia (estándar de difusión en DVB y sonido Dolby Digital).

En la tabla III se muestran las características básicas de los diferentes formatos de la ATSC. Existen tres resoluciones básicas: alta (HDTV), realzada (EDTV) y estándar (SDTV). Para HDTV existen dos posibilidades: 720P (720 líneas

activas en exploración progresiva) y 1.080i (1.080 líneas activas en exploración entrelazada). El 720P es el formato que se está implantando, pues existen visualizadores de precio razonable y el progresivo ofrece mejor calidad que el entrelazado. No hay que olvidar, que en un visualizador de TRC la iluminancia es inversamente proporcional a la resolución horizontal. Debido a ello, los monitores de TRC para 1.080 líneas son de grandes dimensiones y de precio muy elevado.

Tabla III. Características básicas de los diferentes formatos del estándar ATSC y la NTSC.

Transmisión	Analógica	Digital	Digital	Digital	Digital
Denominación	NTSC	SDTV	EDTV	HDTV	HDTV
Resolución máxima	480i	480i	480P	720P	1.080i
Relación de aspecto	04:03	04:03	4:3 y 16:9	16:09	16:09
Capacidad del canal	1	05-Jun	05-Jun	01-Feb	1
Descripción	Lo que se conoce actualmente	Imagen y sonido similar al DVD	Mejor imagen, función de la fuente	Máxima calidad de imagen	Máxima calidad de imagen

En la tabla IV se muestran las resoluciones de los formatos digitales de la ATSC: SDTV (televisión de definición estándar) y HDTV. La definición baja (LDTV) no se contempla en esta norma.

Tabla IV. Resoluciones de los formatos digitales de la ATSC: SDTV (televisión de definición estándar) y HDTV.

Formato	Líneas de exploración	Frecuencia de exploración	Pixelación (V x H)	Velocidad de cuadro	Relación de aspecto	Formatos
SDTV	525 total 480 activas	15.750Hz (60i)	640 x 480	24P, 30P, 60P o 60i	04:03	4
EDTV	525 total 480 activas	31.500Hz (60P)	704 x 480	24P, 30P, 60P o 60i	4:3 y 16:9	8 (4 x 2)
HDTV	750 total 720 activas	45.000Hz (60P)	1.280 x 720	24P, 30P o 60i	16:09	3
HDTV	1.125 total 1.080 activas	33.750Hz (60i)	1.920 x 1.080	24P, 30P o 60i	16:09	3

En la tabla V se muestran las características básicas de los diferentes formatos de la DVB. Existen cuatro resoluciones básicas: HDTV, EDTV, SDTV y baja (LDTV). En la DVB se contempla la relación de aspecto de 20:9, una relación muy panorámica. La relación de 20:9 es similar a la relación 2,21:1 utilizada en el cine panorámico (70 mm). En DVB la resolución de la LDTV se apoya en la resolución del Vídeo-CD de Philips.

Tabla V. Características básicas de los diferentes formatos del estándar DVB y del PAL.

Transmisión	Analógica	Digital	Digital	Digital	Digital	Digital
Denominación	PAL	LDTV	SDTV	EDTV	HDTV	HDTV
Resolución máxima	576i	288P	576i	576P	720P	1.080i
Relación de aspecto	04:03	04:03	4:3, 16:9 y 20:9	4:3, 16:9 y 20:9	16:9 y 20:9	16:9 y 20:9
Capacidad del canal	1	Ago-16	05-Jun	02-Mar	01-Feb	1
Descripción	Lo que se conoce actualmente	Vídeo CD	Similar al PAL	Superior al PAL	Máxima calidad de imagen	Máxima calidad de imagen

Tabla VI. Resoluciones de los formatos digitales DVB. En DVB, además de la relación de aspecto de 16:9, se contempla la relación de aspecto 20:9, muy similar al cine panorámico de 70 mm.

Formato	Líneas de exploración	Frecuencia de exploración	Pixelación (V x H)	Velocidad de cuadro	Relación de aspecto	Formatos
LDTV	625 total	15.625Hz (25P)	352 x 288	24P, 25P o 50i	04:03	3
	288 activas					
SDTV	625 total	15.625Hz (50i)	720 x 576	24P, 25P, o 50i	4:3 y 16:9	6 (3 x 2)
	576 activas					
EDTV	625 total	31.250Hz (50P)	1.080 x 720	24P, 25P o 50i	4:3 y 16:9	6 (3 x 2)
	720 activas					
	750 total	37.500Hz	1.280 x 720	24P, 25P o	16:9 y 20:9	6 (3 x 2)

HDTV	750 total	37.500 Hz (50P)		24P 50i		
	720 activas					
HDTV	1.250 total	31.250Hz (50i)	1.920 x 1.080	24P, 25P o 50i	16:9 y 20:9	6 (3 x 2)
	1.080 activas					

El número de programas que se pueden transportar por el canal (6, 7 u 8 MHz) es función de la resolución escogida y del tipo de programas. Las imágenes muy dinámicas absorben una elevada cantidad de datos y por tanto, reducen el número de programas. Por esta circunstancia, la emisora debe diseñar la programación con gran cuidado para evitar una degradación de los programas que se transportan por el canal.

4.2.1 Estándar para producción CCIR 601

El estándar CCIR 601 es la primera norma sobre la televisión digital, encargándose del muestreo de la señal. Se aplica solamente en estudios, sin llevar a cabo ningún tipo de compresión.

Dicha norma, ha ido evolucionando desde que fue creada, en los años 80, lo que hace interesante o imprescindible especificar la familia de parámetros a los cuales hace referencia. Empezando por la relación de aspecto (4:3 ó 16:9) hasta el submuestreo de las componentes de color que se aplica (4:4:4 ó 4:2:2).

La norma recomienda que sea usada como base para los estándares de codificación digital, por los estudios de televisión en países que utilicen un sistema de 525 líneas y 625 líneas.

La norma especifica métodos para la codificación digital de señales de vídeo. Incluye una relación de la frecuencia de muestreo (F_m) de 13,5 MHz para la componente de luminancia Y, con una relación de aspecto 4:3 y 16:9. Para sistemas que requieren una resolución horizontal mayor, hay una alternativa

cuya frecuencia de muestreo es de 18 MHz para una relación de aspecto de 16:9. Para las componentes de crominancia se emplean una frecuencia de muestreo de 6,75 MHz. La profundidad del muestreo PCM es de 8 bits, opcionalmente de 10 bits para los centros de producción y el flujo de la señal digitalizada se obtiene a partir de :

$$\text{Flujo} = (13,5 + 2 \times 6,75) \times 10 = 270 \text{ Mbps} \quad 4.2.1.1$$

4.3 Surgimiento de la ATV

En 1987 a petición de los distribuidores de Estados Unidos, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) creó el Comité Asesor para Servicio de Televisión Avanzada (ACATS) para investigar la posibilidad de estandarizar la propagación electromagnética del sistema de televisión avanzada (ATV). A finales de 1988, un total de 23 sistemas de televisión avanzada fueron propuestos al ACATS. La revisión de los sistemas propuestos se realizó en el ATTC (Centro de revisión de Televisión Avanzada, por sus siglas en inglés) en Alejandría, Virginia, y en ATEL (Laboratorio de Evaluación de Televisión Avanzada, por sus siglas en inglés) ubicado en Ottawa, Canadá.

En 1990, la FCC tomó varias decisiones clave respecto al espectro de propagación:

- Los distribuidores de programas ATV deberán entregar al consumidor programas NTSC en forma idéntica y simultáneamente, durante el periodo de transición, mientras el sistema NTSC queda inutilizado.
- Todos los formatos del sistema ATV usarán un canal de 6 Mhz e ancho de banda.
- Los canales UHF que estén sin uso, serán asignados a estaciones de TV.

En enero de 1991, cuatro sistemas totalmente digitales y 2 analógicos fueron propuestos para revisión en ATTC y ATEL. Después de dos años de revisión intensiva, una comisión especial de ACATS indicó que no había logrado elegir un sistema que fuera satisfactorio, esto debido en gran medida a que el requerimiento de contar con dos canales de audio digital para proporcionar sonido stereo, había cambiado a cinco canales para poder ofrecer sonido surround, por lo que se decidió consultar a los fabricantes antes de tomar una decisión. Los fabricantes iniciaron discusiones para combinar sus tecnologías. El ACATS apoyo fuertemente a la Gran Alianza (del inglés, *Gran Alliance*) de las compañías para combinar los cuatro sistemas digitales en un único sistema DTV. Para febrero de 1994, la mayoría de los elementos clave del sistema DTV habían sido aprobados por el Comité Técnico, incluyendo el uso de modulación de banda lateral residual (VSB).

4.4 Solución Digital

Durante el periodo de discusión y experimentación de la ATV (1987 a 1994), fueron identificados muchos problemas importantes concernientes al desarrollo de la forma de transmitir la nueva ATV. Estos problemas tendrían un alto impacto en el diseño, costo y por lo tanto, en el éxito de el nuevo sistema de transmisión de TV, por lo que el ACATS adopto varios criterios básicos, con el fin de conocer las necesidades del consumidor y facilitar la implementación de el nuevo sistema DTV. A continuación se describen varios de los criterios antes mencionados.

4.4.1 Interoperabilidad

El propósito es ofrecer una gama de recursos que puedan ser intercambiados entre las nuevas aplicaciones, tales como DTV, computadoras, multimedia, logrando con esto expandir el mercado, lo que animaría a la industria a adoptar la DTV, y desarrollar una plataforma común que pueda ser utilizada tanto para DTV, como para aplicaciones de computación y multimedia.

Para lograr un mejor grado de interoperabilidad, el sistema ATSC utiliza el modelo de interconexión OSI, el cual es usado en muchos estándares de redes de datos, el cual se muestra en la figura 33.

Figura 33. Modelo de OSI de capas y sistema ATSC.



4.4.2 Flexibilidad

El sistema ATSC debe ser lo suficientemente flexible, dado que no es conveniente que se desarrollen todos los formatos ATSC simultáneamente, siendo más razonable, que se de una conversión gradual hacia la televisión digital, necesitándose entonces, un sistema que sea capaz de adaptarse y desarrollarse paulatinamente, conforme el mercado lo exija.

4.4.3 Compresión

El ancho de banda para un canal en transmisión de TV terrestre esta restringido a 6 MHz, por lo que es necesario comprimir los datos para poder transmitir todos los formatos ATSC.

El estándar ATSC se basa en el esquema de compresión MPEG-2, y utiliza un algoritmo de DTC. Sin embargo, algunas restricciones son aplicadas a este sistema de compresión, por lo que se tiene el caso de que un decodificador MPEG-2 puede decodificar todos los formatos ATSC, pero un decodificador ATSC no puede decodificar todos los formatos MPEG-2.

Los requerimientos del esquema de compresión depende de la naturaleza del programa de TV que se este transmitiendo. Programas típicos como deportes puede requerir formatos para escaneo progresivo, el cual puede ofrecer mayor fidelidad de movimiento, comparado con el sistema de escaneo intercalado, mientras que programas como telenovelas y documentales requieren mayor énfasis en la resolución de la imagen.

El esquema de compresión MPEG-2 permite la posibilidad de transmitir utilizando una capa base y una capa mejorada utilizada para HDTV. Estas dos capas pueden ser enviadas en canales separados, y además permitirá ofrecer más canales cuando ya no se utilice la transmisión en formato NTSC.

4.4.4 Escaneo de Imagen

En el sistema de distribución NTSC se utiliza el sistema de escaneo intercalado, esto debido principalmente a las restricciones de ancho de banda. Por otro lado, el sistema de barrido progresivo se utiliza actualmente en los monitores de computadora, la cual es una de las razones por las que el escaneo progresivo a sido electo para la mayoría de formatos de ATSC, esto con el fin de lograr un mayor interoperabilidad entre los sistemas de producción de TV y las computadoras.

Entre las ventajas que presenta el escaneo progresivo, podemos mencionar:

- Reduce la complejidad en lo que se refiere a conversión de escaneo, edición y técnicas de compresión.
- Se reduce el parpadeo en las imágenes.
- Ofrece una mejor calidad de imágenes estáticas (freeze).

4.4.5 Relación de aspecto de imagen y relación de aspecto de píxel

El relación de aspecto de imagen (IAR) se define como la razón de la dimensión de la imagen horizontal (expresado en milímetros o pulgadas) a la dimensión de la imagen vertical (expresado en milímetros o pulgadas). Esta razón toma el valor de 4:3 o 16:9 para televisión y 2:4:1 para aplicaciones de filmación. La razón de aspecto 16:9 fue establecida por el grupo de trabajo en producción de alta definición SMPTE en 1985. Cualquier material de programa o película puede ser adecuado al formato 16:9 tanto para producción y post-producción, distribución o despliegue.

La relación de aspecto del píxel (PAR) se define como la relación de aspecto del espaciado del píxel horizontal al espaciado del píxel vertical. No se refiere a la forma actual del píxel. Esta relación de píxel la determina el IAR y el número horizontal de píxeles (Hp) y las líneas verticales (VL) en la imagen reproducida. La relación entre el PAR y el IAR está dada por:

$$\text{PAR} = \text{IAR} \times \text{VL} / \text{Hp} \quad 4.4.5.1$$

Si la relación IAR y Hp/VL son idénticas, (o si el PAR = 1), la imagen tienen píxeles cuadrados. Como un ejemplo, el formato estándar de imagen VGA/SVGA tiene 640 x 480 píxeles para una dimensión 4:3. Entonces, PAR = $4/3 \times 480/640 = 1$. Esto confirma que los píxeles cuadrados se usan para

generar y desplegar imágenes en computadoras. En aplicaciones de video, el número de pixeles horizontales se determina por muestreo de frecuencia, que se deriva de un múltiplo del escaneo horizontal o frecuencia de la subportadora. Esto produce un píxel no cuadrado de señales digitadas NTSC y CCIR-601. Una buena práctica operacional sería crear un material original en IAR y PAR en que se puede desplegar. Algunas imágenes y PAR se muestran en figura 34.

Figura 34. Relación de aspecto de imagen (IAR) y relación de aspecto de píxel (PAR).

Formato de Imagen Píxel(PAR)	Relación de Imagen (IAR)	Relación de
SDTV NTSC ($4F_{sc}$) CCIR-601 VGA	4  3	768x486 $PAR = (4/3) \times (486/768) = 0.84$ 720x486 $PAR = (4/3) \times (486/720) = 0.9$ 640x480 $PAR = (4/3) \times (480/640) = 1$
HDTV y SDTV	16  9	1920x1080 $PAR = (16/9) \times (1080/1920) = 1$ 1280x720 $PAR = (16/9) \times (720/1280) = 1$ 720x486 $PAR = (16/9) \times (486/720) = 1.2$
FILM (Cinematoscopio)	2.4  1	

4.4.6 Apertura de producción y apertura limpia

El área activa de la imagen se define por el número de píxeles activos en la dirección horizontal (o en una línea) y el número de líneas activas en la dirección vertical. Esta área activa se llama apertura de producción porque es el formato actual considerado para uso en el origen de señal y la post-producción.

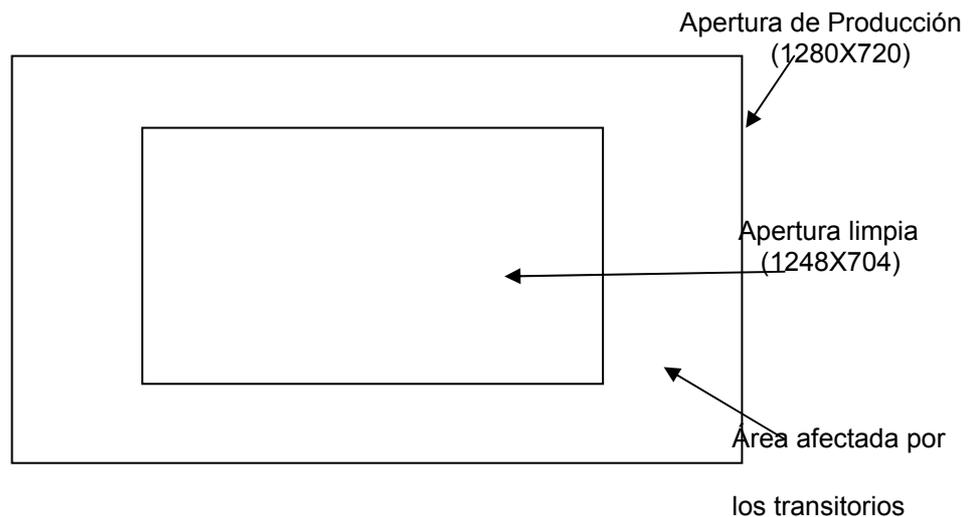
El estándar SMPTE 274M, un escaneo e interfase 1920 x 1080 para rangos múltiples de imagen, menciona que el procesamiento digital impropio de los extremos de la imagen puede introducir transitorios cerca de los lados vertical y horizontal. Estos efectos se pueden minimizar y evitar al usar técnicas apropiadas, como repetición y reflexión de los píxeles en los lados de apertura antes del filtrado digital.

Los siguientes factores contribuyen a la ocurrencia de los transitorios análogos:

- Limitación de ancho de banda de señales análogas
- Implementación de filtros análogos
- Recorte de la amplitud de señales análogas debido al rango dinámico finito impuesto en el proceso de cuantización.

Por esto, reconociendo los efectos de los transitorios en los extremos de la imagen, podemos considerar la imagen dividida en dos áreas, una de las cuales se considera que no es afectada por los transitorios, llamada apertura limpia, mientras que el área total es llamada apertura de producción.

Figura 35. Ejemplo de producción de apertura y producción limpia para el formato de imagen 1280X720.



4.4.7 Consideraciones de Audio

Los consumidores están acostumbrados a la calidad de sistemas de reproducción de calidad como el CD. Los soundtracks de las películas se disfrutan en los hogares a través de la industria de alta fidelidad denominada teatro en casa. Un significativo mercado se beneficiaría de un nuevo sistema DTV que pueda incorporar una capacidad de canales de audio múltiple. Sin embargo, este sistema multicanal debe ser flexible para proveer configuraciones básicas monofónicas y estéreo para acomodar la gran variedad de necesidades del consumidor.

Luego de una comparación de varios sistemas, el sistema surround Dolby AC-3 que fue previamente establecido por la industria del cine. Seis canales discretos se utilizan para transportar la música en frente con 3 bocinas, dialog en el centro canal frontal y efectos especiales (SE) a la izquierda y derecha canales surround. Una opcional mejora es (LFE) canal limitado en ancho de banda provee señales de baja frecuencia y alto nivel

para prevenir la sobrecarga de los convertidores D/A y de las bocinas principales.

4.4.8 Compatibilidad de DTV con los programas originales

La importancia de los programas de origen cinematográfico (CTV) no puede ser ignorada en aplicaciones de televisión. Estos materiales tienen resolución temporal de 24 campos por segundo. Para acomodar los sistemas de televisión convencionales que tengan 30 campos por segundo, un proceso de upconversion, llamado 3.2 pull down , se usa para convertir el rango a un rango CTV. Todos los mosaicos de la película se repiten cinco veces, entonces cada mosaico alternado se remueve del mosaico de transmisión. El resultado es que los mosaicos impares se repiten tres veces y los mosaicos pares se repiten dos veces.

4.5 Sistema Gran Alianza

El estándar ATSC es un estándar de transmisión terrestre que define el contenido de la secuencia de bits, su transporte y transmisión digital en un ancho de banda RF de 6 MHz. El sistema ATSC usa múltiples formatos de transmisión, compresión de audio y video digital, empaquetamiento de datos y nuevas técnicas de modulación de señales RF. El empaquetamiento permite al Video, audio y data auxiliar separarse en unidades de tamaño determinado para correcciones de errores lineales, multiplexación del programa, sincronización de tiempo, flexibilidad y compatibilidad con el formato ATM.

Tabla VII. Características del ATSC

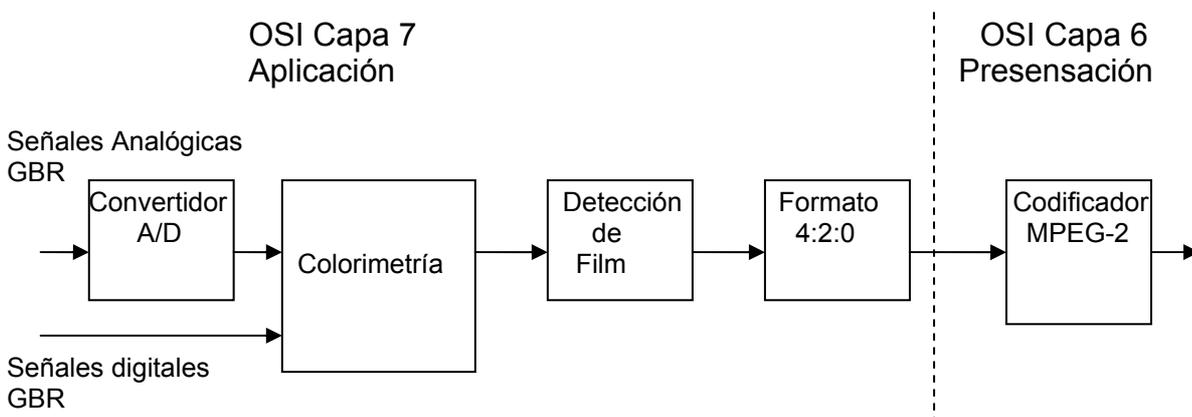
Parámetros	Características
Video	Escaneo múltiple Compresión MPEG-2, de MP@ML a MP@HL
Audio	Dolby AC-3
Datos Complementarios	Servicios adicionales (guía de programa, información del sistema, V-chip, transferencia de data al computador, etc.)
Transporte	Empaquetamiento de data Programas Múltiples Protocolo de transporte MPEG-2
Transmisión RF	Modulación 8-VSB para transmisión terrestre
Receptor	16-VSB para Distribución de red por cable Formato antiguo de presentación en pantalla No hay estándar

4.5.1 Codificación y compresión de Video

Se utiliza el MPEG-2 como sistema de compresión de datos en video. El diseño de sistema de video comprende dos capas OSI, la parte de formateo de fuente de video y la codificación de compresión como lo muestra la figura 36. Es necesario formatear la fuente ya que hoy en día, la mayoría de las fuentes de programas son producidas en varios formatos de componentes análogos utilizando señales G, B, R o Y, Pr, Pb. La digitalización se realiza usando una frecuencia de muestreo de 13.5 MHz para señales SDTV y 75 MHz para

señales HDTV. En la producción de imágenes se utilizan muchos estándares de colorimetría. Para asegurar una versión de colorimetría idéntica en la pantalla receptora, se especifican parámetros de colorimetría basados en colores primarios, características de transferencia (gama) y coeficientes de matriz. Por último, se utiliza el MPEG-2 para la compresión del video. Luego de comprimir la data, ésta se multiplexa en el dominio del tiempo y se formatea en paquetes que serán enviados al sistema de transporte.

Figura 36. Formato y codificación de video.



La transferencia de datos en HDTV utilizando una señal sin comprimir debiera ser de 1Gbps, pero como se utiliza un canal de 6 Mhz de ancho, para transmitir la información debemos comprimirla unas 50 veces con el objeto de reducir la tasa de transferencia a 20Mbps, que es lo que acepta dicho ancho de banda. Los siguientes perfiles MPEG-2 son los determinados por el Standard ATSC:

- El perfil MP@ML (MainProfile@MainLevel) es el formato digital más comparable al NTSC y su velocidad de transmisión de datos es de 15Mbits/s
- El perfil MP@HL (MainProfile@HighLevel) es utilizado para la genuina HDTV . Su máxima velocidad de transferencia de datos

alcanza los 80 Mbits/s, por lo que no puede ser completamente usado en el ancho de banda de 6 Mhz. donde aproximadamente se hace a 19,4 Mbits/s.

4.5.2 Formatos de Pantalla

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

- 1920 x 1080 (Es lo que la industria de la Televisión demanda para la representación de imágenes HDTV)
- 1280 x 720 (Es la sugerencia de la industria del PC para la representación de imágenes HDTV)
- 704 x 480 (Esta combinación corresponde a la equivalencia digital de la señal NTSC de hoy)
- 640 x 480 (estándar VGA combinación de los monitores de PC)

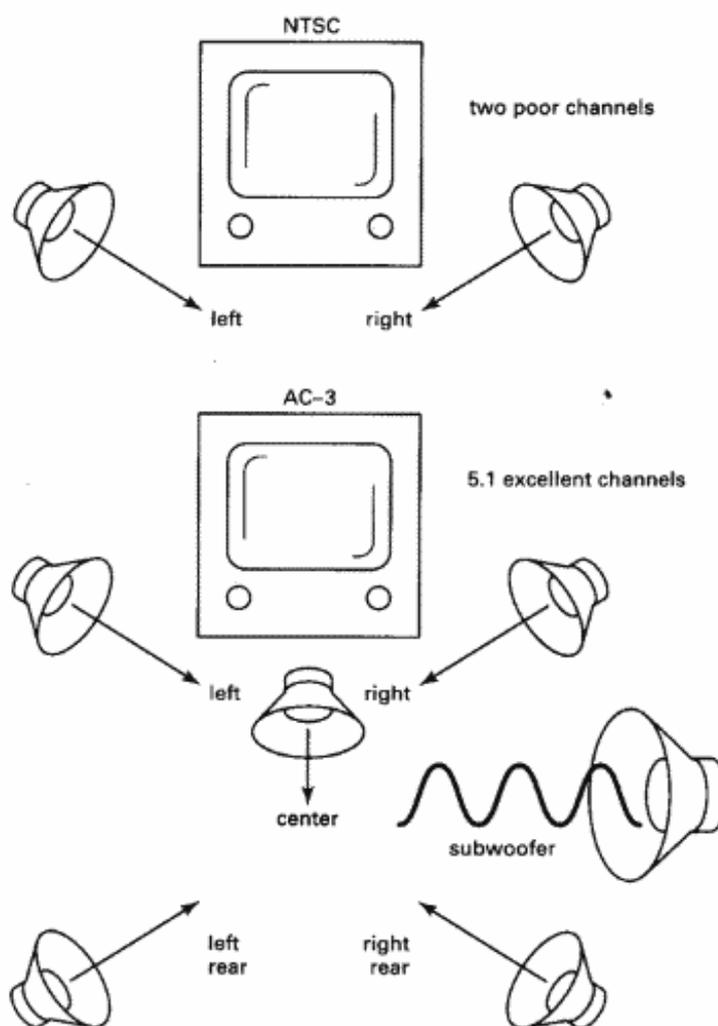
4.5.3 Sistema de Audio

Las características del sistema de audio para ATSC esta definidas en el estándar A-52. Se utiliza la tecnología "*Dolby Digital AC-3*, La misma está basada en el método que actualmente se utiliza en las salas de cine, el *Dolby Surround Sound*. Este procedimiento brinda 5,1 (5 + 1) canales de audio digital .

- Canal Izquierdo
- Canal Derecho
- Canal Central (*Middle Channel*)
- Canal *Surround* Izquierdo
- Canal *Surround* Derecho
- 0,1 Canal para señal de *Subwoofer*

En la figura 37 se muestra una comparación entre el sistema de audio de NTSC y el sistema de ATSC.

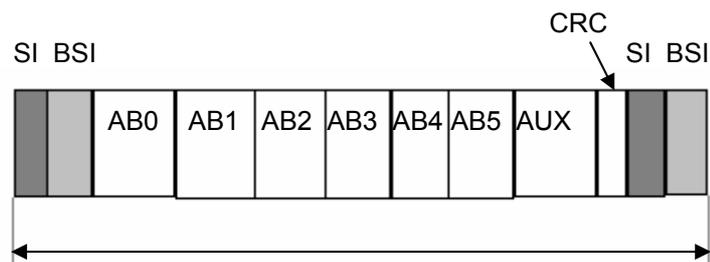
Figura 37. Comparación de sistemas de audio NTSC y ATSC



Después de ser digitalizado, los 6 canales de audio analógicos, las señales digitales son enviadas a un codificador AC-3. En la figura 39 se muestra un diagrama de bloques simplificado para un codificador AC-3.

Estas señales son convertidas en el dominio de la frecuencia utilizando el algoritmo de compresión DCT. El flujo de bits AC-3 esta compuesto de tramas independientes y síncronas, tal y como se muestra en la figura. Una trama sincronía consta de 6 bloques de audio, representando $256 \times 6 = 1536$ muestras de audio, y un bloque auxiliar, colocado al final de la trama, el cual es reservado para el control de la trama, al inicio de la trama se incluye el encabezamiento de sincronía, además en cada trama se utiliza detección de errores CRC para poder revisar la transmisión.

Figura 38. Trama de la cadena de *bits* de AC-3.



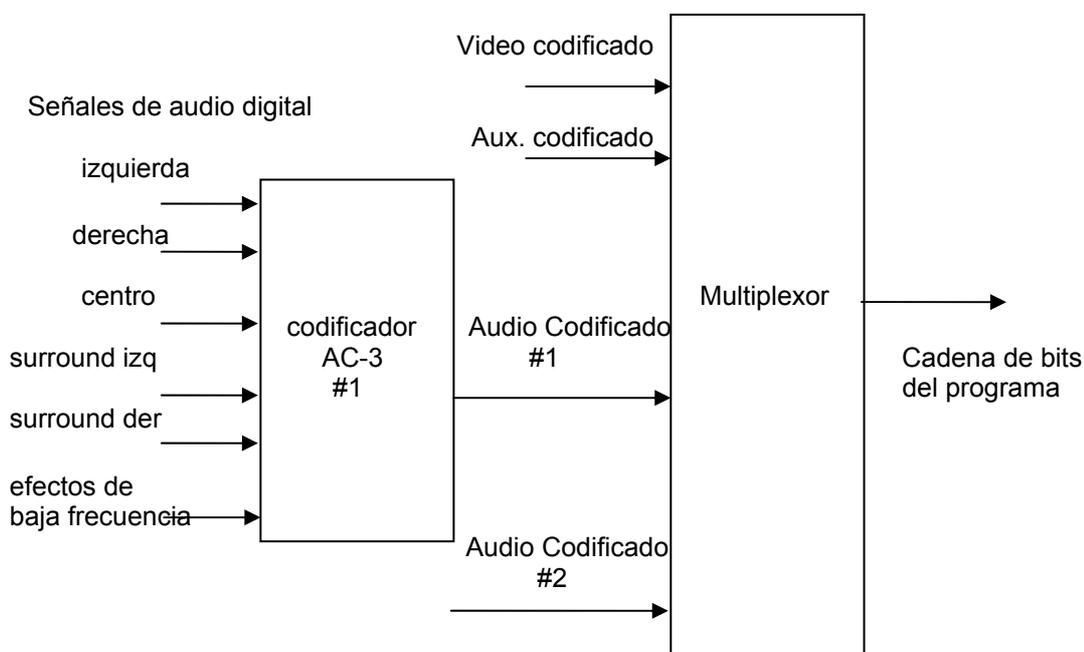
1 Trama de sincronía = 32 ms

SI = información de sincronía

BSI = información de cadena de *bits*

AB0 = bloque de audio #0

Figura 39. Diagrama de bloques simplificado para un codificador AC-3.



4.5.4 Canal de Datos Complementarios

Este canal se ofrece en adición a los servicios de audio y video y puede ser usado para enviar información adicional al televidente que puede ser de diversa índole. Este servicio permite tener posibilidades ilimitadas para poder tener una Programación Interactiva, aunque todavía no se tiene muy en claro cómo las estaciones de televisión diseñarán sus programas añadiendo este servicio.

Algunas ideas existentes son:

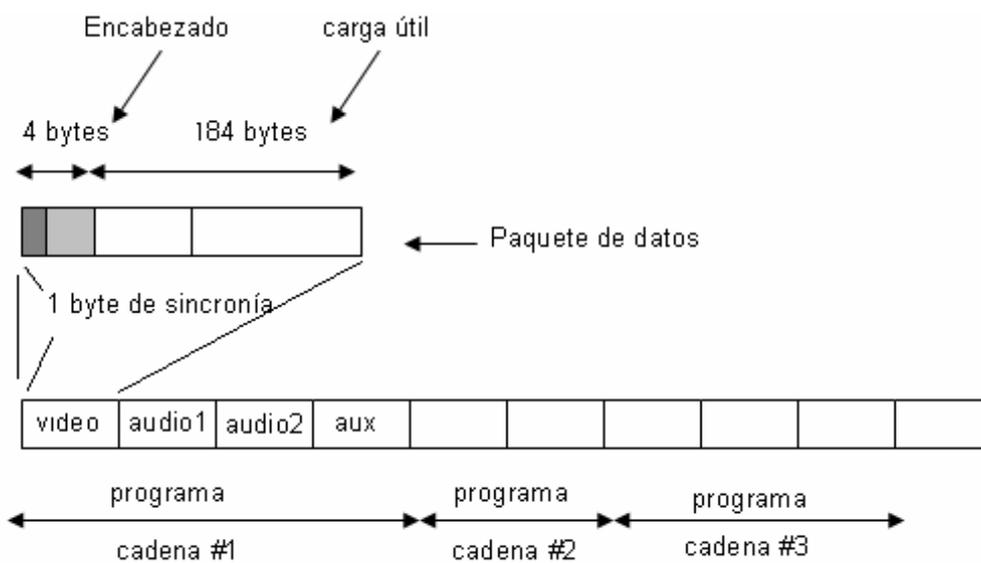
- Publicidad Interactiva
- Subtitulados
- Guía de programación
- Juegos

4.5.5 Multiplexación y Transporte

Los datos comprimidos de video, audio y los datos complementarios se multiplexan formando una sola sucesión de bits. Esta sucesión de bits modula una señal que se transmite por radiodifusión terrestre.

En la figura 40, se ve cómo 4 cadenas elementales (video, 2 de audio, auxiliar) forman una cadena de programa para que luego, varios programas formen una cadena de transporte. Esta cadena de 19.39Mbps pasa entonces al sistema de transmisión.

Figura 40. Multiplexación de cadenas elementales de datos de audio y video.



4.5.6 Transmisión RF

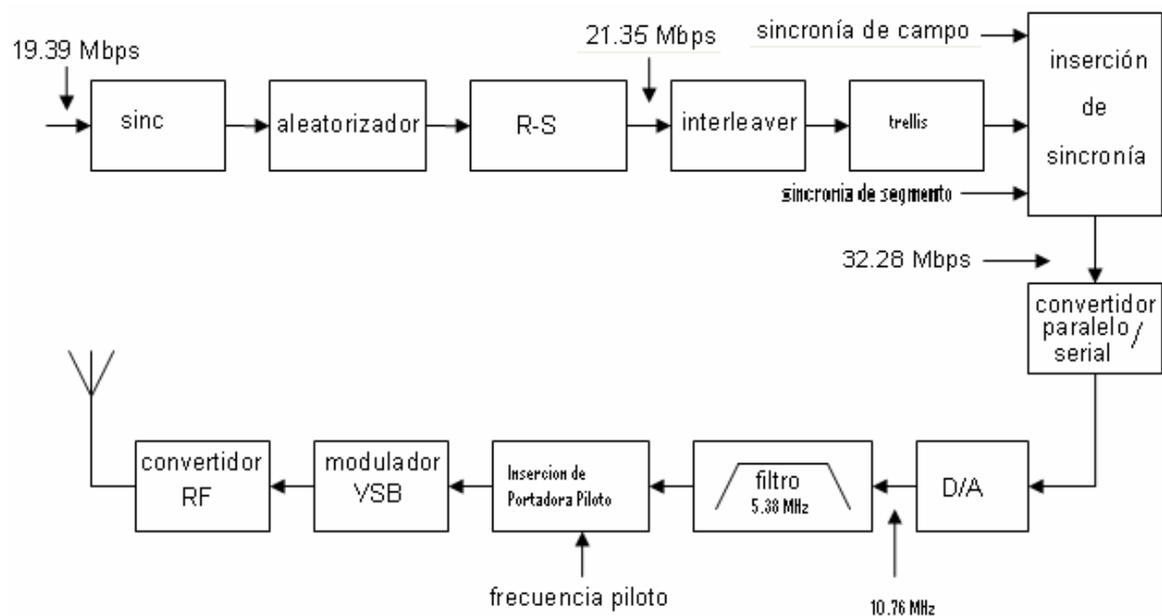
El estándar ATSC recomienda la utilización de modulación VSB (*Vestigial Side Band*, banda lateral residual) en el cual la banda lateral que es parcialmente filtrada constituye un vestigio de la banda lateral original y porta habitualmente del 5% al 10% de la potencia total transmitida, mejorando la relación señal a ruido en las bajas frecuencias de la señal moduladora. Una de las principales ventajas de este sistema es que ocupa menor ancho de banda. En la figura, tenemos un diagrama de bloques de un transmisor VSB.

Para ATSC se utiliza el sistema de modulación 8-VSB que sería banda lateral residual modulada a 8 niveles.

Se toma la banda base del video digital y se la comprime en formato MPEG-2 junto con el audio Dolby AC-3 más los datos complementarios del canal. Todo este conjunto forma un bloque de información en serie con una frecuencia de 19.39 Mbps. Desde la salida del codificador MPEG-2, los datos pasan a través de codificadores de error (Reed-Solomon & Trellis *encoder*), se le insertan los sincronismos y la señal piloto que se encargará de sincronizar el sistema, para ingresar finalmente en el modulador 8-VSB.

A continuación daremos una breve explicación de cada bloque. La señal HDTV entra al sincronizador de cuadros el cual alinea la secuencia de datos en bytes. Esta cadena alimentada la cual consta de 19.39Mbps está compuesta por 188 bytes que incluyen 1 byte de sincronía y 187 bytes de data que representan la parte útil de la carga. Esta cadena pasa a un aleatorizador de datos el cual asegura que los valores constantes de data no existan en la cadena. Esto se hace para que no haya uniformidad en el espectro causando interferencia por parte de la transmisión en los demás canales. El codificador Reed-Solomon (R-S) revisa los *bytes* de cada paquete para añadir bytes para corrección de errores de transmisión. El *data interleaver* corrige futuros errores al originar ráfagas. El proceso de codificación de trellis, incrementa la señal de entrada doblando los valores de data. Cada bloque de 208 bytes es convertida en 832 palabras de 2 bits. Esto se conoce como 8VSB. Luego entran al multiplexador, la señal proveniente del codificador trellis y datos de sincronismo.

Figura 41. Implementación típica de un transmisor VSB.



4.5.7 Receptor

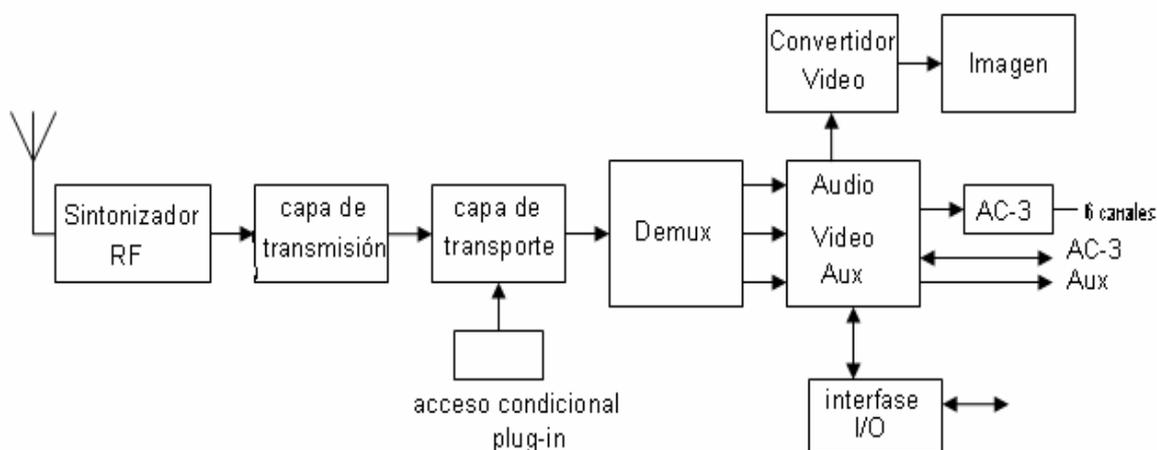
El estándar ATSC no especifica requerimientos para los receptores. Sin embargo, el FCC ha dado una recomendación especificando que todos los receptores deben ser capaces de decodificar el audio, video y señales auxiliares especificadas en los documentos estándares del ATSC. La funcionalidad de recibir múltiples servicios puede ser implementada con receptores o adaptadores set-top para convertir señales digitales ATSC a señales análogas NTSC o señales S-Video. El receptor ATSC invierte las funciones de la transmisión RF y luego de descomprimir y decodificar, genera video y audio conforme al formato de la pantalla y las condiciones de audio escogidas.

4.5.7.1 Características de receptor

Para simplificar diseños, los receptores de TV no despliegan formatos diferentes. Pueden construirse de acuerdo a su formato nativo que pueden ser 1920X1080, 1280X720 O 720X480. Estudios revelan que para poder presentar una imagen HDTV es necesario tener una pantalla de más de 28 pulgadas. En lo que respecta a audio, el estándar AC-3 define un sistema muy flexible que puede proporcionar una codificación de audio de 8 niveles, de mono, estéreo, sonido multicanal con 6 canales discretos.

En la figura 42 se muestra un receptor de ATSC. Un sintonizador de RF es seguido por los bloques de transmisión y transporte, los cuales ofrecen la operación de reversa para sus respectivas capas. Luego el audio, video y canal auxiliar son decodificados y demultiplexados obteniendo la imagen, los 6 canales de audio, y la interfaz de interconexión que puede ser utilizada para aplicaciones interactivas.

Figura 42. Receptor ATSC típico.



Todo el conjunto trabaja en base a algoritmos de codificación y decodificación muy perfeccionistas de la señal que se está transportando, con un sinnúmero de etapas dedicadas a la corrección de posibles errores, lo que nos da la pauta de que en DTV no tendremos la situación de ver con fantasmas originados por múltiples rebotes, ni tampoco con ruidos o degradación alguna. Aquí las posibilidades son sólo dos: se ve perfecto o no se ve nada. Además el estándar está abierto para que se le puedan incorporar futuras mejoras técnicas.

4.6 Distribución Primaria

Se requiere una red de distribución primaria para transportar los paquetes MPEG-2 desde los estudios de televisión hasta los centros re-multiplexores (variaciones autonómicas en la programación) y hasta los centros transmisores. Se consideran varias posibilidades, entre las que se incluyen fibra óptica, redes PDH (del ingles, *Plesichronous Digital Hierarchy*, jerarquía digital casi sincrona) o SDH (del ingles, *Synchronous Digital Hierarchy*, jerarquia digital sincrona), ATM o satélite. Una red completa constará seguramente de una combinación de las posibilidades comentadas.

4.6.1 Redes, Protocolos y Transferencia de Archivos

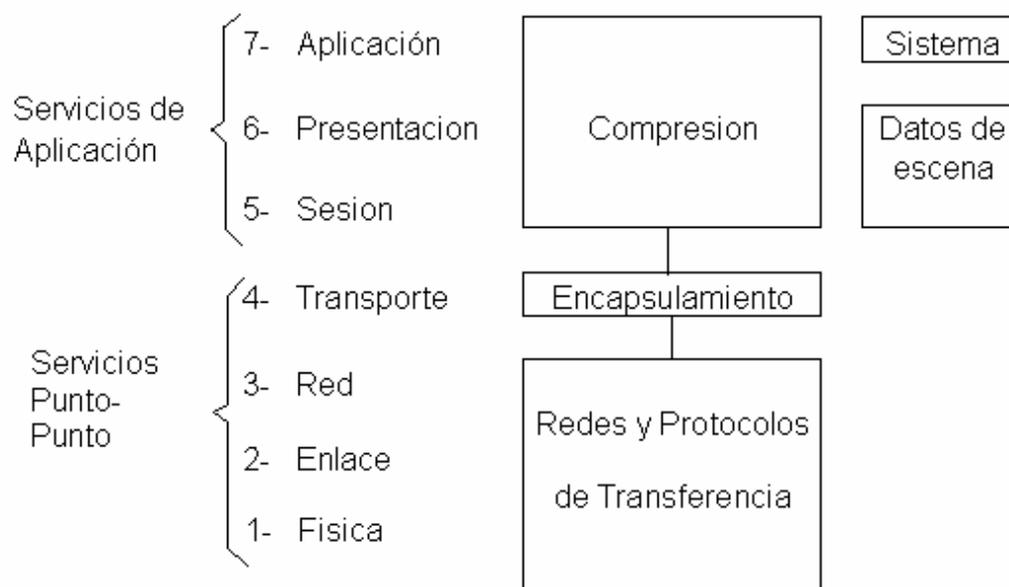
La convergencia de Televisión Digital, computación y telecomunicaciones a permitido que se distribuyan los programas de producción entre estudios, como una cadena de bits. La nueva infraestructura de redes hace posible la combinación de veloces procesadores de video, sistema de compresión y almacenamiento masivo y redes de alta velocidad. Para la próxima implementación de la Televisión de Digital se podrán utilizar la redes de datos para la transferencia de programas entre estudios o entre compañías televisivas asociadas.

La SMTE y la EBU rápidamente notaron la necesidad de tener un enfoque común para el diseño e implementación del nuevo sistema de televisión digital, por lo que crearon una fuerza de tarea con el fin de buscar armonizar los estándares para el intercambio de materiales como cadenas de bits (TF-HS por sus siglas en ingles), reuniendo a más de 200 expertos en todo el mundo, y el informe final fue publicado en julio de 1998.

La fuerza de tarea fue estructurada por capas, en forma similar al modelo OSI, donde cada capa representa una tarea específica. Sin embargo algunas aplicaciones utilizadas en transmisión y descritas en este informe, son consideradas parte de la capa de presentación de modelo OSI, por ejemplo: los formatos de compresión. La representación en capas facilita la estandarización de los sistemas de transmisión de datos y su evolución, además las adiciones o cambios realizados en una capa, no afectan a las demás.

El reporte de la fuerza de tarea esta dividido en cuatro secciones: sistemas, compresión, encapsulamiento y protocolos de transferencia (Ver figura 43).

Figura 43. Modelo OSI y estructura SMTE.



4.6.1.1 Redes

Una red de datos interconecta dispositivos que pueden fungir como fuentes de datos y/o receptores. Un criterio para clasificar redes de ordenadores es el que se basa en su extensión geográfica, es en este sentido en el que hablamos de redes LAN, MAN y WAN, aunque esta documentación se centra en las redes de área local (LAN), nos dará una mejor perspectiva el conocer los otros dos tipos: MAN y WAN.

4.6.1.1.1 Redes de Área Local (LAN)

Son redes de propiedad privada, de hasta unos cuantos kilómetros de extensión. Por ejemplo una oficina o un centro educativo. Se usan para conectar computadoras personales o estaciones de trabajo, con objeto de compartir recursos e intercambiar información. Están restringidas en tamaño, lo cual significa que el tiempo de transmisión, en el peor de los casos, se conoce, lo que permite cierto tipo de diseños (deterministas) que de otro modo podrían resultar ineficientes. Además, simplifica la administración de la red. Suelen emplear tecnología de difusión mediante un cable sencillo al que están conectadas todas las máquinas.

4.6.1.1.2 Redes de Área Amplia (WAN)

Son redes que se extienden sobre un área geográfica extensa. Contiene una colección de máquinas dedicadas a ejecutar los programas de usuarios (*hosts*). Estos están conectados por la red que lleva los mensajes de un host a otro. Estas LAN de host acceden a la subred de la WAN por un router. Suelen ser por tanto redes punto a punto.

La subred tiene varios elementos:

- Líneas de comunicación: Mueven bits de una máquina a otra.
- Elementos de conmutación: Máquinas especializadas que conectan dos o más líneas de transmisión. Se suelen llamar encaminadores o *routers*.

Cada *host* está después conectado a una LAN en la cual está el router que se encarga de enviar la información por la subred. Una WAN contiene numerosos cables conectados a un par de routers. Si dos routers que no comparten cable desean comunicarse, han de hacerlo a través de routers intermedios. El paquete se recibe completo en cada uno de los intermedios y se almacena allí hasta que la línea de salida requerida esté libre. Se pueden establecer WAN en sistemas de satélite o de radio en tierra en los que cada *router* (enrutador) es conectado a una antena con la cual poder enviar y recibir la información. Por su naturaleza, las redes de satélite serán de difusión.

4.6.1.1.3 Protocolos de Transmisión

Un protocolo de transmisión organiza el transporte de datos desde una fuente hacia un destinatario. El protocolo debe brindar un mecanismo eficiente de comunicación para un canal dado. En esta sección describiremos algunas generalidades de los protocolos de las capas de Red y de Enlace (según modelo OSI). En la capa de Red y de Enlace, las cadenas de bits son ordenadas en largos paquetes de bytes llamados tramas o en pequeños paquetes llamados celdas, a los cuales se les agrega una trama o celda de información, la cual es utilizada por el dispositivo receptor para ordenar y sincronizar la información recibida.

Los protocolos de las primeras capas pueden ser clasificados atendiendo a su exigencia de sincronía, así tenemos protocolos asíncronos, síncronos y plesiocronos.

4.6.1.1.4 Protocolo Asíncrono

Este modo de comunicación (ATM) fue utilizado inicialmente para transmitir caracteres. Se caracteriza por un bit de inicio y un bit de final para cada carácter y por poseer una cantidad fija de bits por cada celda (53), por lo tanto la sincronía se toma de los bits de inicio y final lo que provoca que el intervalo de tiempo entre cada secuencia de bits sea variable. Los datos son enviados cuando la red esta disponible. Las celdas son de pocos bytes para permitir una eficiente multiplexación de diferentes tipos de datos sobre un mismo canal.

4.6.1.1.5 Protocolo Plesiocrono

Este modo de operación es casi sincrónico y posee una bien controlada razón de bits, pero no es totalmente sincrónico dado que no utiliza un reloj en común, por ejemplo: redes *Frame Relay* y PDH. En estas redes se permite una poca variación en la frecuencia y la fase del reloj entre los nodos.

4.6.1.1.6 Protocolo Sincrono

Para este modo de comunicación se necesita un reloj común para sincronizar los dispositivos que deseamos comunicar. En este tipo de redes se logra la multiplexación y demultiplexación de varias señales de una baja razón de bits, en una señal de alta razón de *bits*, lo que es llamado multiplexación sincrónica. Las interfaces de la jerarquía digital sincrónica (SDH) están estandarizadas, lo que permite la interconexión de equipos de diferentes marcas. En SDH se logran razones tributarias de 2 MHz con razones de agregado desde 155.52 Mbps hasta 9.953 Gbps y actualmente continúan las investigaciones para lograr velocidades mayores. Para SDH el principal medio de transmisión es la fibra óptica.

4.6.2 Transferencia de Archivos

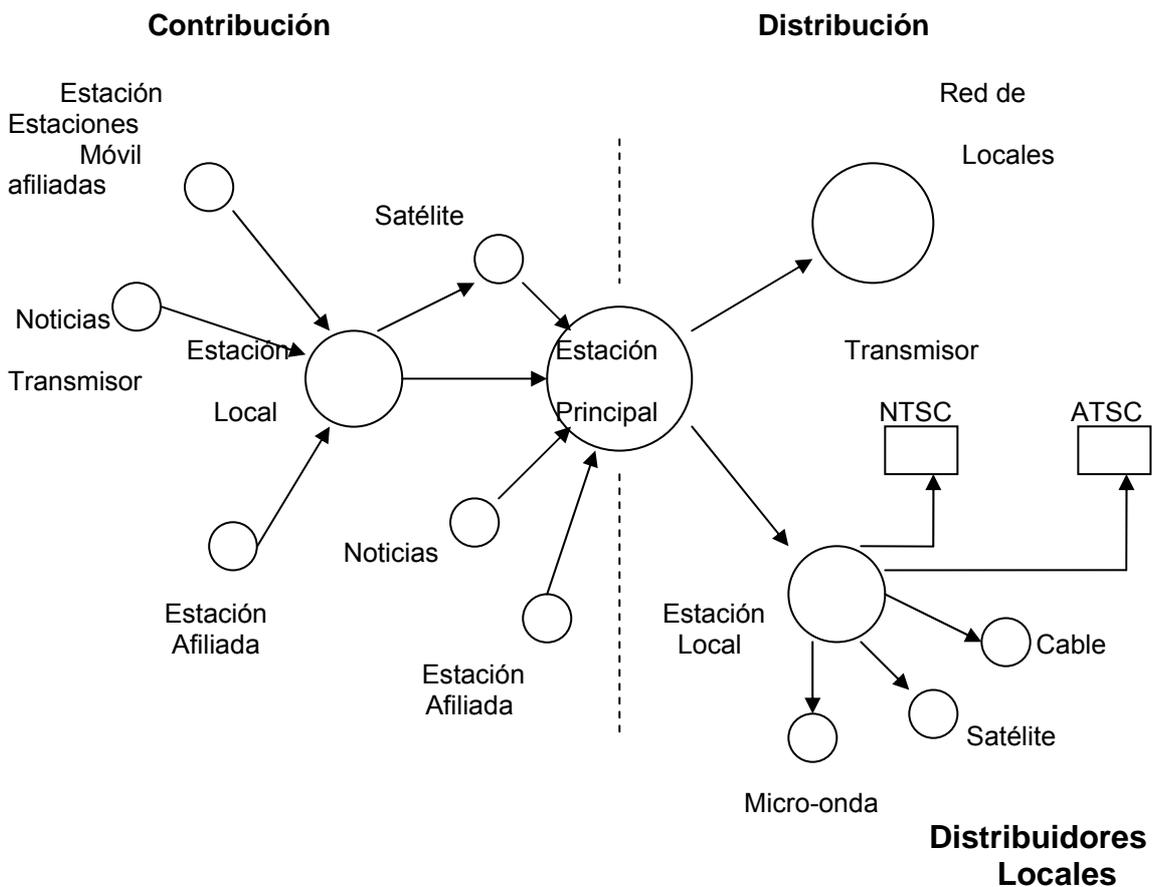
El contenido de audio y video de los programas actualmente es transmitido en forma continua de un lugar a otro. Las nuevas tecnologías, permiten que hoy en día la transferencia del material comprimido se realice como cadenas de bits en forma rápida, por lo que cualquier programa puede ser transferido de un lugar a otro de manera similar como se transfieren archivos entre computadoras.

4.6.3 Plataformas de distribución de Televisión Digital

Entre las necesidades que debe ser satisfecha en lo que respecta a transmisión de señales de TV, tenemos la interconexión entre centros de producción y entre estudios, para que estos puedan compartir material como programas en vivo, por ejemplo: eventos deportivos, noticias, programas de concurso, etc. Además es necesario compartir información con las estaciones

afiliadas y operadores locales, quienes se encargan de transmitir a los consumidores finales. Para estos fines, los operadores podrán elegir entre diferentes plataformas, por ejemplo, para conexión entre operadores y estudios podemos mencionar enlaces PDH, SDH, MPLS, Satelitales, enlaces de Micro-onda, etc. Además cabe mencionar que los enlaces pueden ser una combinación de las tecnologías antes mencionadas. Con lo que respecta a llevar el producto al consumidor final podemos tener Televisión Digital Terrestre (TDT), enlaces Satelitales, redes ADSL, y distribución por cable. En la figura 44 se muestra un modelo típico de interconexión y distribución.

Figura 44. Modelo de interconexión y distribución.



4.6.3.1 PDH

La Jerarquía Digital Plesiócrona, conocida como PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), es una tecnología usada en telecomunicación que permite enviar varios canales sobre un mismo medio (ya sea cable coaxial, radio o microondas) usando técnicas de multiplexación por división de tiempo y equipos digitales de transmisión. También puede enviarse sobre fibra óptica, aunque no está diseñado para ello y suele usarse en este caso SDH (Synchronous Digital Hierarchy). El término plesiócrono se deriva del griego plesio, cercano y chronos, tiempo, y se refiere al hecho de que las redes PDH funcionan en un estado donde las diferentes partes de la red están casi, pero no completamente sincronizadas. La tecnología PDH, por ello, permite la transmisión de flujos de datos que, nominalmente, están funcionando a la misma velocidad (bit rate), pero permitiendo una cierta variación alrededor de la velocidad nominal gracias a la forma en la que se forman las tramas.

PDH se basa en canales de 64 kbps. En cada nivel de multiplexación se van aumentando el número de canales sobre el medio físico. Es por eso que las tramas de distintos niveles tienen estructuras y una duración diferentes. Además de los canales de voz en cada trama viaja información de control que se añade en cada nivel de multiplexación, por lo que el número de canales transportados en niveles superiores es múltiplo del transportado en niveles inferiores, pero no ocurre lo mismo con el régimen binario.

Existen tres jerarquías PDH: la europea, la americana y la japonesa. La europea usa la trama descrita en la norma G.732 de la UIT-T mientras que la americana y la japonesa se basan en la trama descrita en G.733. Al ser tramas diferentes habrá casos en los que para poder unir dos enlaces que usan diferente norma haya que adaptar uno al otro, en este caso siempre se convertirá la trama al usado por la jerarquía europea.

4.6.3.2 SDH

La Jerarquía digital síncrona (SDH) (del inglés, *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. La jerarquía SDH se desarrolló en EEUU bajo el nombre de SONET y posteriormente el CCITT en 1989 publicó una serie de recomendaciones donde quedaba definida con el nombre de SDH.

Uno de los objetivos de esta jerarquía estaba en el proceso de adaptación del sistema PDH (del inglés, *Plesiochronous Digital Hierarchy*), ya que el nuevo sistema jerárquico se implantaría paulatinamente y debía convivir con la jerarquía plesiócrona instalada. Ésta es la razón por la que la ITU-T normalizó el proceso de transportar las antiguas tramas en la nueva. La trama básica de SDH es el STM-1 (del inglés, *Synchronous Transport Module level 1*, modulo de transporte sincrónico de nivel 1), con una velocidad de 155 Mbps.

Cada trama va encapsulada en un tipo especial de estructura denominado contenedor. Una vez encapsulados se añaden cabeceras de control que identifican el contenido de la estructura (el contenedor) y el conjunto, después de un proceso de multiplexación, se integra dentro de la estructura STM-1.

Los niveles superiores se forman a partir de multiplexar a nivel de Byte varias estructuras STM-1, dando lugar a los niveles STM-4, STM-16 y STM-64.

SDH presenta una serie de ventajas respecto a la jerarquía digital plesiócrona (PDH) entre las que podemos mencionar:

- El proceso de multiplexación es mucho más directo. La utilización de punteros permite una localización sencilla y rápida de las señales tributarias de la información.
- El procesamiento de la señal se lleva a cabo a nivel de STM-1. Las señales de velocidades superiores son síncronas entre sí y están en fase por ser generadas localmente por cada nodo de la red.

- Las tramas tributarias de las señales de línea pueden ser subdivididas para acomodar cargas plesiócronas, tráfico ATM o unidades de menor orden. Esto supone mezclar tráfico de distinto tipo dando lugar a redes flexibles.
- Compatibilidad eléctrica y óptica entre los equipos de los distintos suministradores gracias a los estándares internacionales sobre interfaces eléctricos y ópticos.

En cuanto a las desventajas tenemos que:

- Algunas redes PDH actuales no son compatibles con SDH.
- Necesidad de sincronismo entre los nodos de la red SDH, se requiere que todos los servicios trabajen bajo una misma referencia de temporización.
- El principio de compatibilidad ha estado por encima de la optimización de ancho de banda. El número de Bytes destinados a la cabecera de sección es demasiado grande, lo que nos lleva a perder eficiencia.

4.6.3.3 ADSL

ADSL son las siglas de *Asymmetric Digital Subscriber Line* ("Línea de Abonado Digital Asimétrica"). Consiste en una línea digital de alta velocidad, apoyada en el par simétrico de cobre que lleva la línea telefónica convencional o línea de abonado. Es una tecnología de acceso a Internet de banda ancha, lo que implica capacidad para transmitir más datos, lo que, a su vez, se traduce en mayor velocidad. Esto se consigue mediante la utilización de una banda de frecuencias más alta que la utilizada en las conversaciones telefónicas convencionales (300-3.400 Hz) por lo que, para disponer de ADSL, es necesaria la instalación de un filtro (llamado *splitter* o discriminador) que se encarga de separar la señal telefónica convencional de la que usaremos para conectarnos con ADSL.

Esta tecnología se denomina asimétrica debido a que la velocidad de descarga (desde la red hasta el usuario) y de subida de datos (en sentido inverso) no coinciden. Normalmente, la velocidad de descarga es mayor que la de subida. En una línea ADSL se establecen tres canales de comunicación, que son el de envío de datos, el de recepción de datos y el de servicio telefónico normal. Actualmente, en países como España, se están implantando versiones mejoradas de esta tecnología como ADSL2 y ADSL2+ con capacidad de suministro de televisión y video de alta calidad por el par telefónico, lo cual promete una dura competencia entre los operadores telefónicos y los de cable, y la aparición de ofertas integradas de voz, datos y televisión, de hecho Telefónica lanzó un servicio llamado Imagenio ofreciendo un servicio conocido como «*triple-play*», televisión digital, banda ancha para acceso de datos a Internet y voz sobre protocolo IP

4.6.3.4 DTV Terrestre (TDT, del ingles, *Terrestrial Digital television*, Televisión digital terrestre)

La DTV terrestre, puede sintonizarse con antenas conectadas a un televisor digital (o uno analógico conectado a una caja decodificadora), En TDT se utiliza compresión MPEG-2, con modulación COFDM, es decir muchas portadoras moduladas en QPSK o QAM, esta modulación es muy robusta a las reflexiones y propagación multitrayecto, debido a su buena relación señal a ruido permite la utilización de antenas interiores y recepción en equipos móviles, permitiendo toda la calidad de emisión en la recepción. En lo que respecta a la eficiencia espectral se pueden lograr 4 ó 5 programas en 7.61 MHz.

Para la recepción de TDT se debe utilizar una antena que reciba toda la banda de UHF, desde el canal 21 al 69 de la UHF, además el consumidor deberá tomar en cuenta que si utiliza un único decodificador (sintonizador) visualizará en cada televisor lo que tenga seleccionado en el sintonizador TDT.

4.6.3.5 Enlaces de micro-onda

Con el término microondas se identifica a las ondas electromagnéticas en el espectro de frecuencias comprendido entre 300 MHz y 300 GHz. El periodo de una señal de microondas está en el rango de 3 ns a 3 ps, y la correspondiente longitud de onda en el rango de 1 m a 1 mm. Algunos autores proponen que el espectro electromagnético que comprenden es de 1 GHz a 30 GHz, es decir, a longitudes de onda entre 30 cm a 1 cm. A las señales con longitud de onda en el orden de los milímetros se les llama ondas milimétricas.

Básicamente un enlace vía microondas consiste en tres componentes fundamentales: el transmisor, el receptor y el canal aéreo. El transmisor es el responsable de modular una señal digital a la frecuencia y esquema de modulación utilizado para transmitir. Por ejemplo, para ATSC se utiliza 16-QAM.

4.6.3.7 Enlaces satelitales

Un enlace satelital consta de 4 componentes:

- Estación terrena transmisora
- Transpondedor satelital [satélite]
- Estación terrena receptora
- Espacio (atmósfera)

La estación terrena transmisora se caracteriza por el P.I.R.E (Potencia Isotrópica Radiada Efectiva). Esto de hecho esta relacionado a la potencia del transmisor y la ganancia de la antena en la frecuencia de transmisión. La estación terrena receptora se caracteriza por una figura de mérito (G/T) y la Frecuencia Intermedia (IF) de banda ancha.

Cada elemento en la cadena de recepción puede ser asignada a una temperatura de ruido, la cual es una medida de potencia de ruido contribuida por el elemento por unidad de ancho de banda.

Esas contribuciones son combinadas para reflejar la potencia de ruido por la distribución de la ganancia a través de la cadena. En general, la temperatura de ruido de el sistema es determinado primariamente por la antena, al amplificador de bajo ruido (LNA) y los componentes de acople de esos elementos. La suma de pequeñas pérdidas, tales como la atenuación en el cable, entre el LNA y la antena puede resultar en degradación significativa de la figura de mérito G/T. Para un enlace Satelital necesitamos que tanto nuestro transmisor como receptor se encuentren en la huella del Satélite. Dado que las huellas de los Satélites abarcan mucho espacio, estos enlaces funcionan muy bien como enlaces multipunto.

Hoy en día, en lo que respecta a TV, los servicios Satelitales se utilizan para retransmisión en directo de noticias y eventos deportivos, especialmente el fútbol, hacia los operadores locales de cada país, así como también para ofrecer al consumidor final una amplia gama de canales, entre los que ya se cuenta con HDTV, por ejemplo: DIRECTV®.

4.6.3.7 Distribución por cable

Para la distribución de TV digital por cable se utiliza el rango de frecuencias de 5 a 562 MHz, con compresión digital MPEG-2, la modulación a utilizar es 64-QAM que permite un buen aprovechamiento el ancho de banda, permitiendo la transmisión de 6 programas en un ancho de banda de 8 MHz. Dado que los proveedores de televisión por cable ofrecen muchos canales, utilizan la compresión de datos u otras técnicas que comprometen la calidad de la imagen, lo que resulta en una imagen "suave", es decir de baja resolución, por lo que actualmente, al menos en Guatemala, no ofrecen el servicio de HDTV, está disponible únicamente si nuestra recepción es por antena (DirecTV en nuestro caso), solo de esta forma podemos disfrutar los programas HDTV con la misma resolución que las cadenas de televisión pretenden.

5. TRANSICIÓN A TELEVISIÓN DIGITAL

5.1 Beneficios de la radiodifusión de Televisión Terrenal Digital (DTV)

Hoy, a través de América, la radiodifusión de televisión terrenal es uno de los medios de comunicación más conocidos e importante, transmitiendo noticias vitales, información y entretenimiento sin costo a cualquiera que tenga acceso a un equipo de televisión. Con una población de más de 800 millones, actualmente hay 400 millones de televisores en América, y este número sigue creciendo con la radiodifusión que alcanza más del 90% de los hogares en la mayoría de países.

Siendo ya una parte vital de la infraestructura de las comunicaciones y de la información de la región, se espera que durante la próxima década los sistemas nacionales de radiodifusión de televisión de la región se actualicen de tecnología analógica a digital, manteniendo el ritmo con los avances digitales que están redefiniendo todos los tipos de telecomunicaciones globales. La transición a la radiodifusión de televisión terrenal digital (DTV) es un cambio revolucionario que afectará dramáticamente el futuro de la televisión gratis al aire en América. Con tecnología digital, DTV permite a cada radiodifusor llevar a cada hogar una enorme fuente inalámbrica de información, entregando 20 millones de bits por segundo a través de cada canal de radiodifusión de televisión de seis MHz. Esta capacidad no sólo permite la entrega de imágenes dramáticamente más fieles y sonido de ambiente con calidad CD, soporta una mayor cantidad de y diversidad de programas de TV, además de todo un nuevo arsenal de servicios de información, incluyendo capacidades interactivas que ayudarán a traer más completamente y más uniformemente los beneficios de la era de la información a todos los ciudadanos en América.

Con la transmisión digital, la calidad de imagen y sonido mejora a través de la presentación de capacidades de imagen y audio significativamente mejoradas y la eliminación de nieve, ruido e imágenes fantasma. Los radiodifusores pueden proporcionar uno, o algunas veces dos programas de televisión de alta

definición (HDTV), entregando imágenes mucho más claras y definidas con seis veces más información gráfica que las presentes radiodifusiones analógicas. O, dependiendo del tipo de programación, los radiodifusores pueden ofrecer de cuatro a seis o incluso más programas simultáneos de televisión con definición normalizada (SDTV) en un sólo canal de 6 MHz. Adicionalmente, se puede proporcionar audio de alta calidad con la tecnología avanzada de sonido multicanal. Además de estos servicios innovadores de vídeo y audio, los radiodifusores pueden ofrecer una variedad ilimitada de nuevos servicios de información que pueden ofrecer nuevas oportunidades de negocios, mientras también proporcionan educación, cuidados de la salud y otras aplicaciones que tratan necesidades sociales apremiantes.

Los radiodifusores podrán experimentar con variedad de ofertas y paquetes de servicio innovadores, mejorando su habilidad para responder al mundo mercantil, mientras continúan proporcionando servicios de programación gratuitos y cumpliendo con sus obligaciones de interés público. Por ejemplo, los radiodifusores pueden usar la DTV para entregar grandes cantidades de contenido de Internet a personas que probablemente nunca tengan una computadora personal. Dichas aplicaciones pueden ser entregadas a nuevos equipos de televisión digital, o a económicas cajas convertidoras que permitan la visualización de contenido digital en televisores analógicos existentes. De esta manera, DTV representa un medio inmediato y efectivo para promover la inclusión social a través de la región y reducir la “división digital”, de manera que todos los segmentos socioeconómicos de la sociedad puedan obtener los beneficios de esta fructífera nueva tecnología.

Así, la conversión a la televisión con tecnología digital representa una mejora sustancial en la calidad técnica de la televisión, además de una mejora sustancial en la cantidad de programación televisiva disponible, más una mejora revolucionaria en la infraestructura de información de las naciones que implementan la tecnología. Adicionalmente, debido a que la DTV hace mucho más eficiente el uso del espectro electromagnético que la radiodifusión de la televisión analógica, al final de la transición, los gobiernos serán capaces de volver a capturar y atribuir significativas cantidades de espectro que pueden

soportar servicios inalámbricos innovadores adicionales que se enfocan a importantes necesidades sociales y son motores de crecimiento económico por décadas por venir.

5.2 Objetivos amplios de la radiodifusión DTV

Esta sección tiene el propósito de resumir la amplia gama de capacidades de la tecnología DTV y las amplias metas que pueden lograrse mediante su aplicación, y no está relacionada ni con las especificidades de las normas propuestas ni, estrictamente, con las experiencias nacionales sobre la implementación de esta tecnología.

5.2.1 Mejor calidad técnica

La transmisión digital en sí ofrece una mejora significativa en la calidad técnica de las imágenes y los sonidos asociados, por ejemplo eliminando la “nieve” y los “fantasmas”. Además, la HDTV ofrece seis veces más información por imagen, ofreciendo imágenes mucho más nítidas y claras, las cuales combinadas con un formato de presentación de pantalla ancha y seis canales de sonido envolvente de calidad de CD, representa una mejora cuántica en la calidad técnica de los servicios de televisión radiodifundida.

Rápidos descensos en los precios de los dispositivos de presentación y los receptores han contribuido a un tremendo interés de los consumidores en los productos y servicios HDTV. Según se estima, casi 30 millones de artefactos HDTV se hallarán en los hogares de los espectadores para fines del 2005, y esa cifra llegará a más de 106 millones para 2010.

5.2.2 Mayor calidad y variedad de servicios

La tecnología DTV también permite ofrecer varios servicios simultáneos de calidad SDTV, aumentando la cantidad y variedad de servicios provistos a sus espectadores. Por ejemplo, los radiodifusores no comerciales pueden utilizar esta capacidad para brindar programas educativos múltiples a las escuelas y los hogares. Con configuraciones de sistema diseñadas para maximizar la tasa de bits disponible en un canal de radiodifusión DTV, los radiodifusores pueden

proporcionar varias combinaciones de tales servicios, por ejemplo uno de HDTV, uno de SDTV y una página Web.

5.2.3 Nuevos servicios de información e inclusión social

La radiodifusión DTV facilita una variedad ilimitada de nuevos servicios de información, incluyendo servicios interactivos. Los servicios de información pueden integrarse con programas de video o independientemente de tales programas. Una gran cantidad de interactividad en tales aplicaciones puede brindarse simplemente descargando información sustancial de la que los espectadores pueden escoger. La interactividad puede incrementarse aun más mediante el uso de un canal de retorno a través del cual los espectadores pueden solicitar contenidos específicos del radiodifusor. Existen múltiples tecnologías para implementar el canal de retorno, incluyendo, sin limitarse a ellos, las redes fijas y móviles, las conexiones de banda ancha o incluso un canal de retorno terrenal si se dispone de espectro adicional.

5.2.4 Portabilidad

Además de la recepción mediante receptores fijos con antenas ya sea externas o interiores, la radiodifusión DTV presenta la posibilidad de transmitir programas y aplicaciones a dispositivos portátiles, caracterizados por pantallas relativamente pequeñas y la necesidad de un consumo reducido de energía.

Tales dispositivos, típicamente teléfonos móviles y PDA (del inglés, *Personal Digital Assistant*, asistente digital personal), pueden equiparse con demoduladores de DTV a fin de permitir la recepción de contenidos de radiodifusión en cualquier momento y lugar. Como tales, estos dispositivos portátiles pueden considerarse un punto de convergencia entre las redes de telecomunicaciones y las de radiodifusión. En algunos casos, los servicios suministrados a dispositivos portátiles pueden también proporcionarse independientemente del servicio de televisión terrenal digital, utilizando espectro adicional. La radiodifusión DTV también brinda la capacidad de recepción por parte de receptores en movimiento, es decir, en trenes, buses o automóviles. La movilidad no necesariamente implica un consumo bajo de batería y típicamente

requiere de dispositivos de visualización de medianos a grandes, y por lo tanto no debe confundirse con los servicios brindados a dispositivos portátiles. Los servicios móviles se caracterizan por la recepción en vehículos de alta velocidad, lo cual presenta retos técnicos sustanciales para la recepción confiable de la señal.

Tanto la recepción móvil como el servicio a los dispositivos portátiles exigen reducciones en la tasa de bits que puede transmitirse en un canal terrenal. Así, dependiendo de la cantidad de servicios móviles o de *hand-held* provistos y la robustez de tales transmisiones, la provisión de estos servicios podría restar de la calidad y/o cantidad de servicios que podrían brindarse a los receptores DTV fijos y móviles.

5.2.5 La eficiencia y recuperación del espectro

La radiodifusión DTV utiliza más eficientemente el espectro electromagnético que la radiodifusión analógica, y la conversión a la radiodifusión digital ofrece la oportunidad de recapturar y reutilizar una gama valiosa del espectro para otros servicios inalámbricos innovadores. Para algunos países, esta oportunidad será una fuerza motriz en el esfuerzo por apresurar la transición a la radiodifusión digital.

5.2.6 El desarrollo industrial y el crecimiento económico

La transición a la radiodifusión DTV representa oportunidades significativas para promover el desarrollo industrial, la creación de empleo y el crecimiento económico, dependiendo de las características individuales de cada país y las políticas que decida adoptar.

5.3 Aspectos técnicos en la implementación de Televisión Digital

Uno de los problemas que presenta el cambio a Televisión Digital es la necesidad del cambio de los receptores actuales, lo cual es la razón principal para que el cambio se realice paulatinamente, haciendo de las empresas emisoras empiecen a transmitir en forma analógica y digital simultáneamente,

como Radio y Televisión de Guatemala por ejemplo, quienes ya ofrecen HDTV para la programación de Canal 3, en la frecuencia del canal 19.

En otros países, como Estados Unidos, la fecha límite para el cambio total a Televisión Digital, es febrero de 2009 (fijada por la FCC), mientras que para España es en el año 2010, por lo que el consumidor tarde o temprano deberá adquirir un aparato para TV digital, o bien adquirir un convertidor para poder seguir utilizando su antiguo receptor, pero con menor resolución, además los estudios deberán equiparse con *routers* de alta velocidad para manejar el flujo de bits, y mientras se hace el cambio total a Televisión Digital tendrán que manejar tanto video comprimido como no comprimido, ya que deberán manejar NTSC y DTV por algunos años más.

La Televisión Digital puede transmitirse por varios medios, así podemos tener transmisión vía Satélite, Terrestre, Cable y redes de datos. Hoy en día, la transmisión se hace en forma analógica, pero debido a que con el cambio a DTV todo el tratamiento de la señal será digital, y dado que las técnicas de compresión de audio y video hacen posible la transferencia y transmisión de programas de TV y demás materiales de producción como transferencia de archivos de datos entre computadoras, entonces los diferentes operadores se verán en la necesidad de cambiar la forma en la que transmiten su información, tanto al público en general, como las transmisiones que realicen de estudio a estudio, hacia estaciones repetidoras, o entre estaciones afiliadas, pudiendo utilizar para este fin redes LAN y WAN, utilizando las diferentes plataformas tecnológicas que se tienen actualmente para redes de datos estándar, tales como SDH, PDH, ATM, MPLS, ADSL, GigaEthernet, etc.

5.3.1 Infraestructura de transmisión y recepción

En principio, los transmisores de televisión digital utilizarían la infraestructura actual de transmisores de televisión analógica, con lo cual podría ser reutilizada gran parte de la infraestructura disponible actualmente. En algunas situaciones se requeriría una nueva antena para la recepción del usuario final; si la antena disponible fuera a ser empleada, habría de tenerse en cuenta que las señales

digitales tendrían que ser combinadas en alta potencia con las señales analógicas actuales (al menos durante la transición analógico-digital), o bien el conjunto debería pasarse por un amplificador multicanal, lo cual conllevaría problemas de filtrado y de no linealidades.

Figura 45. Ejemplo de infraestructura de transmisión de TV.

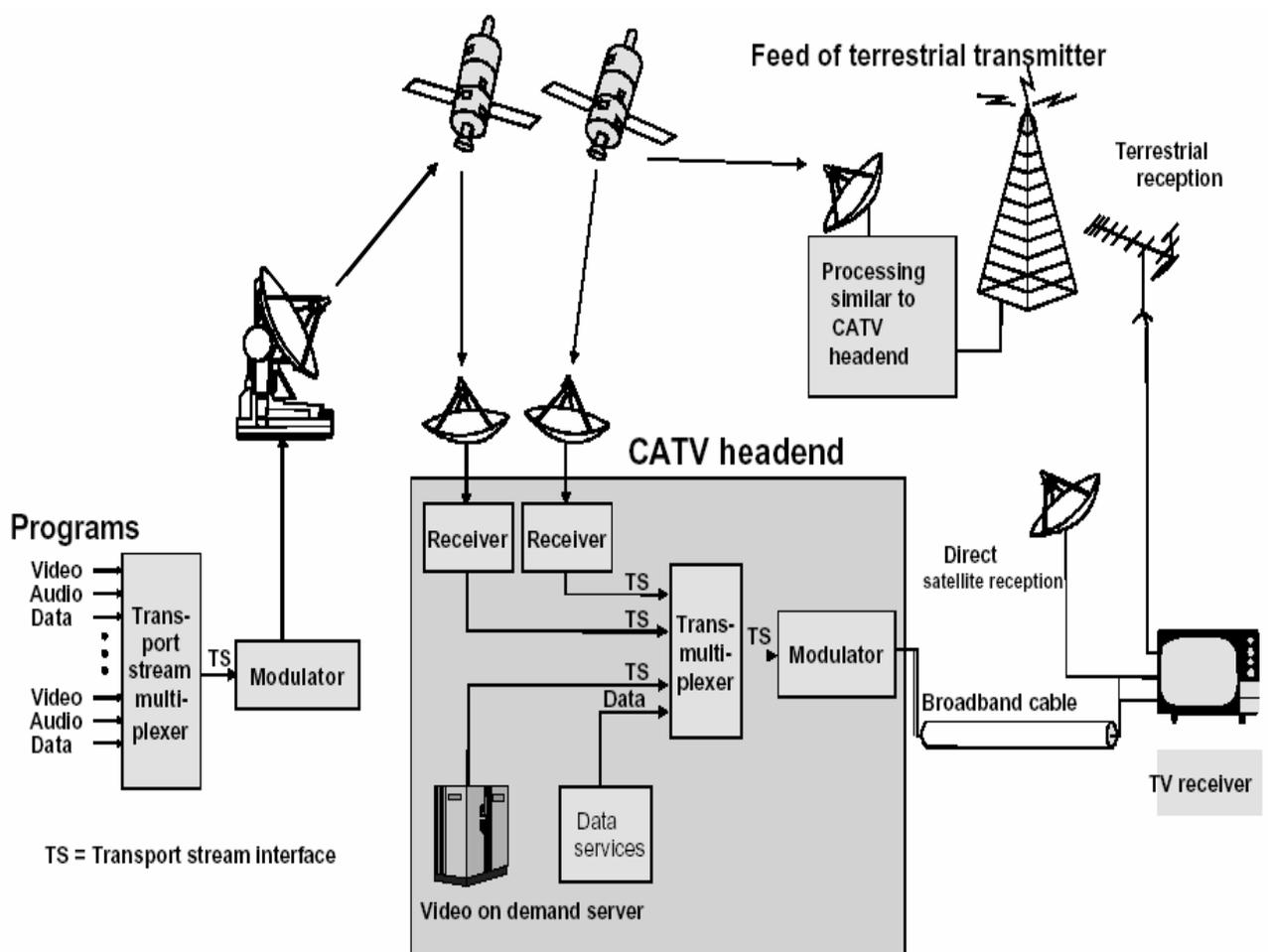
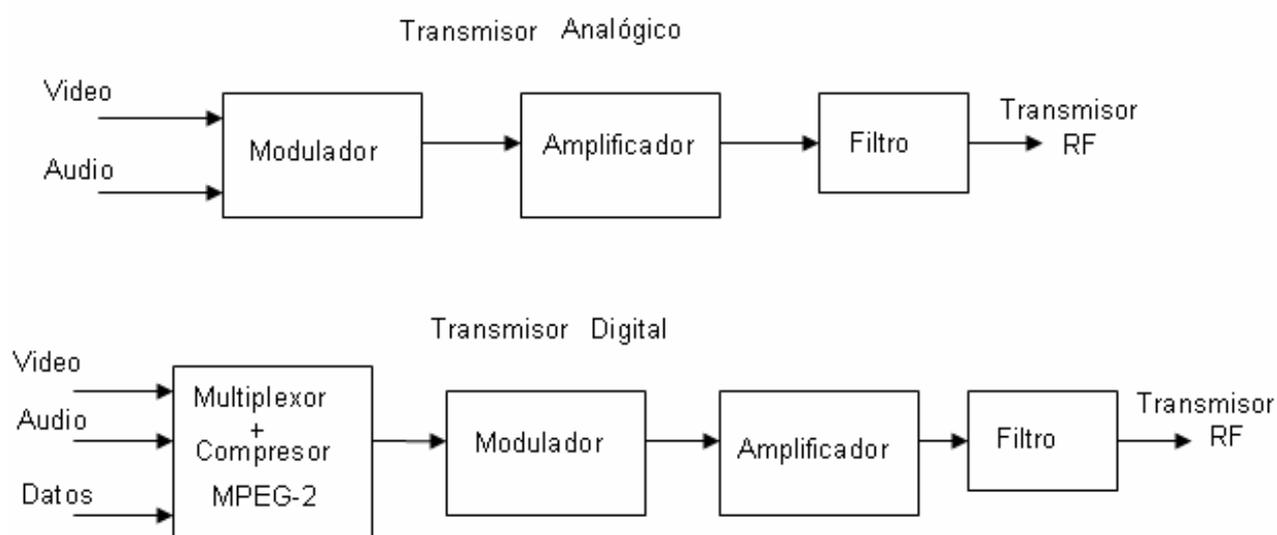


Figura 46. Diagrama de bloques simplificado de transmisores analógico y digital.



5.3.2 Equipos receptores de usuario

Probablemente uno de los requisitos más críticos para la adopción de un nuevo estándar sea la disponibilidad de equipos que lo soporten. En efecto, un factor clave en el éxito de la implantación de un sistema de TDT es lo atractivo que sea el sistema y los nuevos servicios y ventajas que ofrezca respecto de los anteriores sistemas analógicos, lo cual viene en buena parte marcado por la posibilidad de disponer de receptores sencillos por un lado, y versátiles y que ofrezcan gran variedad de servicios por otra.

5.3.3 Convertidores DTV estándar

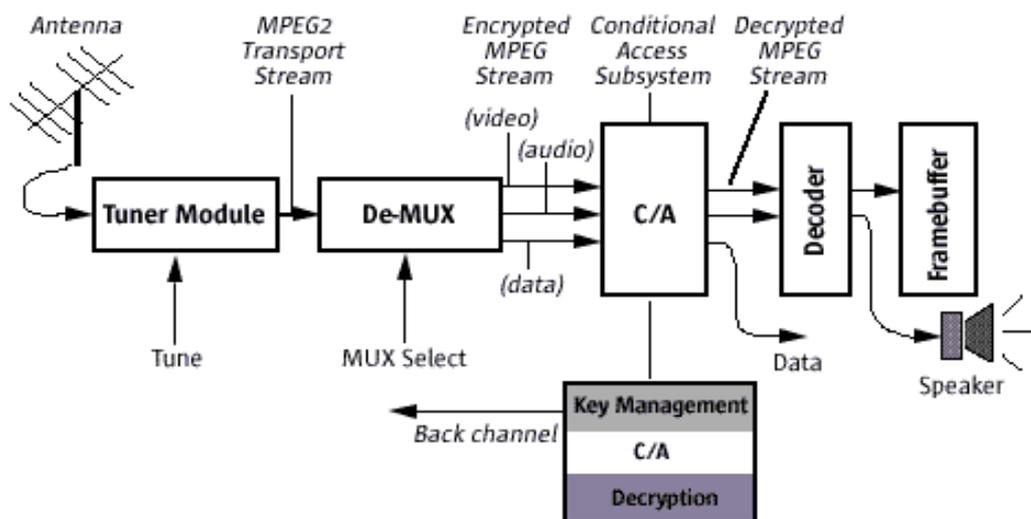
Un decodificador llamado también *SET-TOP BOX* (STB) es el dispositivo que posibilita la recepción en el hogar de la televisión digital y todas sus ventajas: los servicios interactivos, el acceso condicional o la televisión de alta definición.

Básicamente se encarga de recibir una señal digital en alguno de los estándares de TV digital existentes, comprueba que tenga permiso para mostrarla y envía la señal de forma analógica al televisor.

Los decodificadores, en realidad, no son más que un paso intermedio hasta que los televisores digitales se comercialicen (de hecho ya existen algunos televisores de estas características).

El *set-top box* se encarga de tratar la señal para que aparezca en el televisor siguiendo el siguiente esquema (fuente: Java.Sun.com):

Figura 47. Tratamiento de la señal por el *Set-top box*.



1. Primero se sintoniza la señal para recibir la información de audio, vídeo y datos (los tres tipos que vienen mezclados)
2. Después se separan los tres tipos de paquetes según su tipo (audio, vídeo o datos).
3. A continuación, el sistema de acceso condicional se encarga de decidir qué permisos tiene el suscriptor para ver unos contenidos u otros, y en función de eso, descripta los paquetes.
4. Los paquetes de audio y video descriptados se pasan a los dispositivos de vídeo y audio del televisor.
5. Los paquetes de datos que forman una aplicación se ejecutan si es necesario.
6. El *Set-top box* puede poseer un canal de retorno por donde enviar datos a la cabecera (*Back Channel*, canal de retorno).

5.3.3.1 Características más comunes en un *set-top box*

Entre las características básicas más comunes de un set-top box podemos mencionar:

- Procesadores 32-bits a 80 Mhz
- Un mínimo de 8Mb RAM
- 2Kb de EEPROM
- 8 MB de memoria FLASH
- Disco duro de 20 Gb
- Mando a distancia
- Teclado inalámbrico (opcional)
- Canal de retorno por modem (generalmente de teléfono)

5.3.3.2 Algunos proveedores de STBs:

- General Instrument
- LG Electronics
- Microsoft
- Panasonic
- Samsung
- Philips
- Scientific-Atlanta
- Thomson Consumer Electronics
- Zenith Electronics

5.4 Repercusiones que tendrá el cambio a DTV

Para el consumidor final, además de la posibilidad de aplicaciones interactivas, la televisión digital en teoría puede dar acceso a un número mucho menos limitado de contenidos. Además, supone mayor calidad y definición de imagen, así como la posibilidad de acceder a nuevos servicios creados por las compañías operadoras. Estas indudables ventajas tienen, por otro lado, su contraparte negativa, dado que supone un gasto añadido para el usuario, que se ve obligado a cambiar sus televisores o comprar un decodificador suplementario.

Para los operadores de televisión digital, posibilidad de establecer nuevos modelos de negocio basados en la interactividad. Creación de nuevos canales, que para un modelo de televisión como el que se presta en Guatemala en el que gran parte de los ingresos se deben a la publicidad, representará una nueva vía para recaudar beneficios.

Para la industria de la electrónica. Es el sector que más interesado en que se de el cambio total a la DTV pues, al tenerse que renovar los aparatos

receptores de televisión, el cambio definitivo traerá consigo muchos ingresos para todos los agentes que forman la cadena de valor.

Para los creadores de contenidos. Tendrán nuevas vías para comercializar sus productos, representando así un crecimiento en esta industria.

Para las empresas emisoras. Tendrán más canales de comunicación para llegar al consumidor, que además estará más segmentado, pudiendo así focalizar más sus mensajes publicitarios. Además, podrán obtener información más precisa sobre los comportamientos de los usuarios.

Otro problema de la televisión digital es el llamado "abismo digital": mientras que la señal analógica podía llegar deficiente pero visible, si la recepción digital falla, la televisión no se ve en absoluto. De todos modos, se espera que este problema sea cada vez menor con el desarrollo de la tecnología digital.

Como consumidores nos resta esperar que más compañías locales ofrezcan el servicio y tendremos que equiparnos con un nuevo receptor para poder disfrutar los beneficios antes mencionados o bien, adquirir una caja convertidora y seguir utilizando nuestro receptor actual mientras su vida útil lo permita.

5.5 Estimación financiera de la implementación de un canal de Televisión Digital

Como se mencionó anteriormente, los radiodifusores podrán elegir entre transmitir en SDTV o bien HDTV, dependiendo esto de muchos factores, tales como mercado objetivo de la empresa televisora, las necesidades del mercado, las regulaciones gubernamentales y el monto de inversión. A continuación se muestra una estimación de la inversión necesaria para el cambio o implementación de un canal digital.

Estos datos fueron calculados basándose en un canal que pueda transmitir desde cerro Alux, con cobertura en todo el valle de la ciudad de Guatemala, lo que implica transmisores con una potencia mínima de 5 KW, además los precios fueron estimados incluyendo colocación e instalación en Guatemala.

Tabla VIII. Estimación financiera de implementación de SDTV y HDTV para una estación local.

	SDTV	HDTV
Celda de edición	\$ 30,000	\$60,000
Equipo de almacenaje	\$ 20,000	\$100,000
Enlace punto a punto	\$ 21,000	\$55,000
Transmisión	\$ 115,000	\$250,000
Total	\$ 186,000	\$465,000

5.6 Planificación del espectro para la radiodifusión DTV

El desarrollo de un plan eficiente y eficaz para efectuar asignaciones de canales DTV en el espectro existente actualmente dedicado a la radiodifusión de televisión analógica es uno de los aspectos más importantes y difíciles de planificar en pos de una transición exitosa a la DTV, especialmente en aquellos países donde las bandas de televisión ya están densamente ocupadas. El desarrollo de la habilitación de créditos y asignaciones de canales DTV es una tarea compleja de ingeniería e informática. Sofisticados modelos y algoritmos de planificación han sido desarrollados por aquellos países que ya han emprendido esta tarea, y estos países están dispuestos a compartir sus experiencias y software de modelado con otros países de la región.

5.6.1 Experiencia de Brasil en planificación de espectro

El espectro radioeléctrico es un recurso importante y altamente valioso que debe gestionarse adecuadamente para satisfacer las políticas establecidas. Brasil ha preparado un plan para canales que serán usados en la radiodifusión terrenal digital, independientemente de la norma digital que elija el país. Esta sección detalla los criterios de planificación, incluidas las respectivas intensidades de campo mínimas que pueden usarse y la relación de protección (analógico/digital, digital/analógico y digital/digital), así como las condiciones necesarias para optimizar el uso del espectro y lograr una adecuada distribución de los futuros canales digitales.

Los canales de televisión digital, que usan bandas VHF-H (canales 7 a 13) y fundamentalmente bandas UHF (canales 14 a 59) reemplazarán los actuales canales analógicos manteniendo áreas de servicio equivalentes. Durante la fase inicial, denominada “fase de transición”, el servicio de radiodifusión se brindará simultáneamente a través de canales analógicos y digitales. Al culminar esta fase cesará la transmisión analógica y comenzará una nueva etapa denominada “fase digital” en la que solamente se usarán canales digitales. Si el número de canales disponibles en un emplazamiento específico excede los necesarios, se seleccionarán para él los mejores canales. En este proceso de selección tendrán prioridad los canales digitales UHF con mejor cobertura y sin canales adyacentes que compartan el mismo emplazamiento, ya sean análogos o digitales. Se logró un acuerdo en el que se establece que las empresas de televisión tendrán preferencia para el uso de los mejores canales digitales frente a las estaciones repetidoras. En caso de que existan dos empresas de televisión en emplazamientos diferentes, la localidad con mayor población tendrá preferencia para el uso del mejor canal.

5.6.1.1 Premisas para la planificación de canales DTV

A continuación se indican los principios más importantes que se han adoptado para la implementación de la televisión digital:

- La TV digital reemplazará a la actual TV analógica usando las bandas de frecuencia VHF y UHF;
- El principal objetivo de la planificación es garantizar que las estaciones de TV digital tengan una cobertura similar a la de las estaciones analógicas actuales;
- durante una etapa inicial denominada “Fase de Transición” los canales analógicos y digitales se transmitirán simultáneamente (“*simulcasting*”);
- La planificación del sistema DTV se llevará a cabo en dos etapas: en la “Fase 1” se aplicará solamente a ciudades que cuenten con estaciones de potencia completa en funcionamiento y, en una etapa posterior o “Fase 2”, a ciudades donde solamente haya estaciones traductoras y en zonas de sombra.

5.6.1.2 Parámetros de planificación de canales

5.6.1.2.1 Intensidad de campo mínima para recepción exterior

A los fines de la planificación, el modelo adoptado para recepción exterior contempla un dispositivo típico ubicado en el límite de la zona de servicio que incluye una antena exterior a una altura de diez metros sobre el nivel del suelo, una línea de transmisión y un receptor de TV digital. La intensidad de campo mínima para la recepción exterior se indica en el tabla IX donde se toman en cuenta factores tales como el margen por ruido artificial (ruido por impulsos).

Tabla IX. Intensidad de campo mínima para recepción exterior.

Factor	VHF baja	VHF alta	UHF
Frecuencia media (MHz)	71	195	608
Altura de antena sobre el suelo (m)	10		
Ganancia de antena con relación al dipolo media onda (dBd)	4,5	6,5	10
Atenuación de línea (dB)	1	2	4
Margen por ruido artificial (dB)	6	1	0
Índice de ruido del receptor (dB)	10		
C/N requerido (dB)	15 + D (D=0 para 8-VSB, D=2 para COFDM FEC 2/3 y D=4 para COFDM FEC 3/4)		
Intensidad de campo mínima (dB μ V/m)	33 + D	36 + D	44 + D

5.6.1.2.2 Intensidad de campo mínima para recepción interior

Para la recepción interior se partió de la base de una antena tipo ubicada a una altura de 1,5 metros por encima del segundo piso de un edificio. La definición de la intensidad de campo mínima para recepción interior se presenta en el tabla X se debe tomar en cuenta factores tales como los márgenes por ruido artificial, pérdida por penetración del edificio y pérdida de altura de la antena receptora.

Tabla X. Intensidad de campo mínima para recepción interior.

Factor	VHF baja	VHF alta	UHF
Frecuencia media (MHz)	71	195	608
Altura de antena sobre el suelo (m)	1,5		
Ganancia de antena con relación al dipolo de media onda (dBd)	-2,2	-2,2	0
Atenuación de línea (dB)	0	0	0
Margen por ruido artificial (dB)	6	1	0
Margen por pérdida por penetración (dB)	8	8	7
Margen por pérdida de altura (1er. Piso) (dB)	5	5	6
Índice de ruido del receptor (dB)	10		
C/N requerido (dB)	15 + D (D=0 para 8-VSB, D=2 para COFDM FEC 2/3 y D=4 para COFDM FE 3/4)		
Intensidad de campo mínima (dB μ V/m)	52 + D	56 + D	63 + D

5.6.1.2.3 Relaciones de Protección

Los valores por defecto para las relaciones de protección en canales de televisión DTV y PAL-M se basaron en los resultados obtenidos en pruebas de laboratorio sobre TV digital. Las relaciones de protección mencionadas en el tabla XI se representa el peor escenario e incluye configuraciones 8-BLR (ATSC), COFDM 64-QAM FEC 2/3 (DVB-T y RDSI-T) y COFDM 64-QAM FEC 3/4 (DVB-T y RDSI-T). En el caso de interferencia de un canal de TV digital con un canal de TV PAL-M se utilizó el criterio de calidad grado 3.

Tabla XI. Relaciones de protección.

Canal interferente	Relación D/U (dB) (canal deseado = N)			
	Analógico/ analógico	Digital/analógico	Analógico/digital	Digital/digital
N-1 (inferior)	- 6	- 11	- 26	- 24
N (mismo canal)	+ 28	+ 34	+ 7	+ 19
N+1 (superior)	- 12	- 11	- 26	- 24
N-8 y N+8 (FI)	- 12	-25	-	-
N-7 y N+7 (oscilador local)	- 6	-24	-	-
N+14 (imagen de audio)	- 6	-24	-	-
N+15 (imagen de video)	+ 3	-22	-	-

5.6.1.2.4 Requisitos de colocación

Se considera que dos o más antenas de transmisión para TV analógica o digital están co-localizadas cuando están instaladas en la misma estructura o en estructuras emplazadas a una distancia de hasta 400 metros. En este caso específico, las relaciones de potencia analógico/digital que se presentan en la tabla XII cumplirán el límite de perceptibilidad (LOP) determinado en las pruebas de laboratorio llevadas a cabo en Brasil.

Tabla XII. Requisitos de co-localización.

Canal interferente	Relación de potencia D/U (dB) (canal deseado = N)			
	Analógico/ analógico	Digital/analógico	Analógico/digital	Digital/digital
N-1 (inferior)	prohibido	0	- 26	- 24
N+1 (superior)	prohibido	0	- 26	- 24
N-8 y N+8 (FI)	- 12	-10	-	-
N-7 y N+7 (oscilador local)	- 6	-10	-	-
N+14 (imagen de audio)	- 6	-10	-	-
N+15 (imagen de video)	+ 3	-8	-	-

5.6.1.2.5 Norma para antena exterior

Para la recepción exterior se supuso que la antena receptora tiene una norma de ganancia directiva relacionada con el coseno cuadrado del ángulo de discriminación. En los cálculos de la interferencia, la atenuación de la señal interferente se expresa como $-10 \times \log_{10}[\cos^2(\theta)]$ dB, donde θ es el ángulo entre la línea desde el lugar de recepción a la estación que debe protegerse, y la línea desde el lugar de recepción a la estación interferente. Esta atenuación nunca es superior a 6 dB para VHF y 14 dB para UHF.

5.6.1.2.6 Estimación de la cobertura y la interferencia

La protección contra la interferencia a la TV analógica se define sobre la zona limitada por el Contorno Protegido de la estación. Para la TV digital también se considera a efectos de la protección la zona limitada por el Contorno Protegido, de acuerdo al tabla XIII. Los siguientes modelos de propagación, en los que se usa una base de datos con terreno digitalizado, se han utilizado en los estudios para la habilitación de los nuevos canales digitales.

Tabla XIII. Estimación de la cobertura y la interferencia.

Banda	Clase	Canal de TV analógica				Canal DTV				
		ERP (dBk) HAAT = 150m	Contorno protegido F(50,50) (dBµV/m)	Contorno protegido (Km)	Contorno 1 (Km)	ERP (dBk) HAAT = 150m	Contorno protegido F(50,50) (dBµV/m)	Contorno protegido (Km)	Cobertura exterior (Km) (D=0,2,4)	Cobertura interior (Km) (D=0,2,4)
VHF baja	ESP	20	58	63	31	7	45	63	64 – 72	37 – 43
	A	10		42	18	-3		42	47 – 54	24 – 28
	B	0		25	11	-13		25	31 – 37	14 – 17
	C	-10		14	6	-23		14	19 – 24	8 – 10
VHF alta	ESP	25	64	66	40	12	51	66	72 – 79	44 – 51
	A	15		46	25	2		46	56 – 62	29 – 34
	B	5		28	14	-8		28	39 – 46	17 – 22
	C	-5		16	7	-18		16	25 – 30	10 – 12
UHF	ESP	32	70	53	39	19	57	53	55 – 59	36 – 41
	A	22		40	26	9		40	43 – 48	25 – 29
	B	12		26	15	-1		26	32 – 36	14 – 17
	C	2		14	8	-11		14	20 – 25	8 – 10

5.7 Experiencia de México para la planificación e implementación de la DTV

5.7.1 Antecedentes

El objetivo de la adopción del estándar y el establecimiento de una Política para la Televisión Digital Terrestre en México es promover la transición de la televisión analógica a la televisión digital mediante el establecimiento con claridad de los derechos y obligaciones de los operadores de televisión, respecto de la transición, como un proceso dinámico y retroalimentado con miras de corto, mediano y largo plazo en beneficio del interés público. En 1999 se estableció en México el Comité Consultivo de Tecnologías Digitales para la Radiodifusión, cuya conformación es mixta en el que participan gobierno e industria, para analizar estos temas y proponer las alternativas que fueran más convenientes para el país; destacan las transmisiones experimentales realizadas en la ciudad de México y Tijuana así como el seguimiento sobre las experiencias de aplicación y análisis de otros países, entre los que se encuentran Estados Unidos, Canadá, Brasil, Francia, Inglaterra y El Japón.

5.7.2 Elementos para la selección de la norma ATSC

De conformidad con el resultado de los estudios y evaluaciones de los estándares digitales que fueron analizados por el Comité, el estándar A/53 de ATSC es el que resulta recomendable para las transmisiones de televisión digital terrestre en México, dado que reúne las siguientes características:

- La capacidad para lograr transmisiones confiables de alta definición en canales de seis MHz, que es el mismo ancho de banda con el que actualmente se llevan a cabo las transmisiones analógicas de televisión;
- La eficiencia en la transmisión de las señales, que permita maximizar la cobertura de la población con la menor potencia posible, a fin de replicar con tecnología digital la actual cobertura analógica al menor costo;
- El aprovechamiento de potenciales economías de escala en la producción global de aparatos de recepción, a fin de tomar ventaja de la reducción de costos en beneficio de la sociedad;
- La disponibilidad de aparatos de recepción en condiciones favorables de calidad, diversidad y precio;
- El potencial de desarrollo de nuevos servicios y de aplicaciones móviles y portátiles, y
- Las mejores condiciones para la recepción de las señales originadas en el territorio nacional y que por su ubicación pudieran ser captadas en el extranjero.

5.7.3 Características generales de la política

La política establecida toma como base dos ejes principales que interactúan, primero el servicio al público y segundo, generar las condiciones de seguridad jurídica necesarias para la transición con miras de largo plazo.

En cuanto al servicio al público es conveniente destacar:

a) La política establece la necesidad de garantizar la continuidad del servicio analógico durante la transición, para tal efecto se asignarán temporalmente segundos canales para la transmisión de la televisión digital mediante la realización de *simulcast* (emisión simultánea). Es importante señalar que la característica fundamental de la DTV al público seguirá siendo gratuita.

b) La política reconoce que la transición es un proceso de largo plazo que se desarrollará gracias a cuatro vertientes principales

- Disponibilidad de equipos receptores. En este aspecto resulta fundamental el que se cuente con economías de escala para lograr que los precios de los receptores sean accesibles al público. En este sentido, una primera fuerza es el de la adquisición normal de nuevos receptores digitales a precios competitivos en relación con el precio actual de los televisores analógicos. De igual forma, se reconoce que en materia de receptores, las tecnologías se encuentran en proceso de evaluación y mejora que favorecerán el contar con productos atractivos al consumidor.
- Oferta de servicios: Es necesario que se inicien las transmisiones en diversos lugares del país, para que el servicio se encuentre disponible al público y se aprovechen las ventajas que pueden ofrecer los receptores de la DTV. En este sentido, la Política establece una transición gradual a la DTV, iniciando con las transmisiones en las ciudades de mayor densidad poblacional así como aquellas cercanas a la frontera con los Estados Unidos. A tal efecto se han establecido seis períodos trianuales para la transición a partir del 2006.
- Calidad de las transmisiones. Un elemento que ofrece la tecnología digital es el mejorar la calidad de las transmisiones, tanto en la eliminación de los artefactos analógicos, tales como los efectos indeseables de las multitrayectorias, así como la mejora en la resolución y efectos de la imagen y el sonido, llevándolo a transmisiones de alta definición. A tal efecto, la política establece requerimientos para que se lleven a cabo transmisiones de alta definición, en forma gradual, así

como para garantizar que esta característica no se vea limitada por la introducción de nuevos servicios.

- Convergencia tecnológica. Otra de las ventajas que ofrece la tecnología digital es la alternativa de incorporación de nuevos servicios como resultado de la convergencia tecnológica, en este aspecto la Política establece la posibilidad para que se puedan incorporar dichos servicios en forma competitiva con los servicios de telecomunicaciones.

Por otra parte, como se ha destacado, se considera que el segundo elemento de fundamental importancia es la seguridad jurídica, con condiciones de transparencia y pleno apego a derecho, que generan certidumbre para las inversiones, que se han proyectado en más de 2,500 millones de dólares. En este aspecto, el proceso mismo de establecimiento de la política de la DTV emana de la búsqueda de los consensos con la industria para lograr un equilibrio con las necesidades que se desprenden del servicio al público y el apego a lo establecido en la legislación vigente. Conforme a ello:

Se han establecido reglas claras y transparentes en cuanto a su aplicación para la transición a la televisión digital terrestre. Al respecto destaca la gradualidad en la implementación de la DTV, en seis períodos trianuales, pudiendo iniciar con presencia para luego ir a la réplica de la cobertura. Asimismo, la política contempla una diferenciación en cuanto a la migración de las estaciones comerciales con las no comerciales, ya que las segundas podrán iniciar un período después que las comerciales.

Como parte de estas reglas, destaca que los interesados en entrar a la transición a la DTV deberán solicitar el refrendo (renovación) de su concesión o permiso, para que en ella se establezcan las condiciones específicas para la transición, las cuales se encuentran publicadas.

Primer período (a partir de la entrada en vigor de este acuerdo y finaliza el 31 de diciembre de 2006).

México, D.F., Monterrey, N.L., Guadalajara, Jal., Tijuana, B.C., Mexicali, B.C., Cd. Juárez, Chih., Nuevo Laredo, Tamps., Matamoros, Tamps. y Reynosa, Tamps., con al menos la presencia de dos señales digitales comerciales.

Segundo período (1° de enero de 2007 al 31 de diciembre de 2009).

Réplica digital de las señales comerciales del primer periodo.

Presencia de las señales digitales comerciales en zonas de cobertura de un millón y medio de habitantes en adelante.

Tercer período (1° de enero de 2010 al 31 de diciembre de 2012).

Réplica Digital de las señales del segundo periodo.

Presencia de las señales digitales no comerciales en zonas de cobertura de un millón y medio de habitantes en adelante. Presencia de las señales digitales comerciales en zonas de cobertura de un millón de habitantes en adelante.

Cuarto período (1° de enero de 2013 al 31 de diciembre de 2015).

Réplica digital de las señales digitales del tercer periodo.

Presencia de las señales digitales no comerciales en zonas de cobertura de un millón de habitantes en adelante. Presencia de las señales digitales comerciales en zonas de cobertura de quinientos mil habitantes en adelante.

Quinto período (1° de enero de 2016 al 31 de diciembre de 2018).

Réplica digital de las señales del cuarto periodo. Presencia de las señales digitales no comerciales en zonas de cobertura de quinientos mil habitantes en adelante. Presencia de las señales digitales comerciales en zonas de cobertura de ciento cincuenta mil habitantes en adelante.

Sexto período (1° de enero de 2019 al 31 de diciembre de 2021).

Réplica digital de todos los canales analógicos, en todas las zonas de cobertura servidas por la televisión analógica.

5.8 Situación en Guatemala

Conciente de que la transición de sistemas de radiodifusión de televisión terrenal analógicos a digitales es solo cuestión de tiempo, la administración de Guatemala ha decidido planificar actividades que permitan enriquecer algunos de los puntos de la guía de implementación DTV, adoptada en Buenos Aires.

Bajo esa perspectiva, la administración planifica y fomentara en la medida de sus posibilidades, reuniones de trabajo y foros en los que se discuta el tema enfocado desde puntos de vista claves, como lo son el gubernamental, económico, operativo, comercial y regulatorio. Con ello, se pretende recolectar la suficiente información que permita en la próxima reunión del CCP.II (Comité Consultivo Permanente II), presentar un informe a las administraciones de la CITEL (Comisión Interamericana de Telecomunicaciones), que de forma realista y actualizada muestre la situación de nuestro país en relación al tema, así como los puntos de vista de los radiodifusores.

Los puntos que se pretenden discutir en estas actividades son:

- Evaluar las necesidades y objetivos especiales del país con respecto a la radiodifusión de DTV.
- Forma de ampliar la cantidad y variedad de los servicios de radiodifusión de TV, incluyendo servicios nuevos y revolucionarios de información.
- Alternativas de solución para atacar problemas sociales urgentes en materia de educación, de la salud, seguridad pública, etc.
- Lograr un uso eficiente del espectro de radiodifusión de televisión, incluida la posibilidad de recuperar espectro para nuevos usos.
- Políticas a nivel regulatorio y asociadas a licencias para sistemas DTV
- Situación de radiodifusores existentes y nuevos participantes.

- Procedimientos para adjudicar licencias de DTV y asignaciones de canales.
- Posibles planes para la transición y calendarios.
- Parámetros mínimos aplicables en la planificación de canales asociados a sistemas DTV.

CONCLUSIONES

1. El sistema de televisión analógica, en un futuro próximo será reemplazado por un sistema de televisión digital.
2. Los estándares de transmisión de Televisión Digital aprovechan más eficientemente el ancho de banda, lo que permite que en DTV se dé una transmisión simultánea de varios programas diferentes, mientras que en HDTV se pueden ofrecer imágenes de muy alta calidad.
3. La Televisión Digital ofrece audio multicanal.
4. El sistema de Televisión Digital es lo suficientemente flexible, lo que permite satisfacer las demandas de diferentes segmentos de mercado.
5. Para interconexión entre operadores y estudios será necesario utilizar las nuevas tecnologías de redes de datos.

RECOMENDACIONES

1. El establecimiento de una política nacional para la Televisión Digital, que permita promover la transición de la televisión analógica a la televisión digital mediante el establecimiento de la legislación adecuada.
2. El desarrollo de un plan eficiente de asignación de espectro radioeléctrico.
3. Durante la fase de transición, el servicio de radiodifusión deberá ofrecerse simultáneamente a través de canales analógicos y digitales.
4. Equiparse con un nuevo receptor para poder disfrutar los beneficios de la televisión digital o bien, adquirir una caja convertidora y seguir utilizando nuestro receptor actual mientras su vida útil lo permita.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ferrel Stremmer. **Introducción a los sistemas de comunicación**. 3era. Edición; USA Editorial Addison Weley 1992 pp. 708-712.
2. Michael Robin, Michael Poulin. **Digital television fundamentals**. 2da. Edición; USA: Editorial McGraw-Hill, 2000. pp. 37-51.
3. Bernard Grob, Charles Herndon. **Televisión práctica y sistemas de video**. 6ta. Edición; México: Editorial Alfaomega 2003. pp. 260-273.
4. Michael Robin, Michael Poulin. **Digital television fundamentals**. op.cit.,pp 131-135.
5. Video análogo y digital. <http://pub.ufasta.edu.ar/SISD/tvigital/fqs.htm>. 2 de mayo de 2007.
6. Mischa Schwartz. **Information Transmission, Modulation and Noise**. Mexico:Editorial Mc Graw-Hill 1983. pp. 454-457.
7. Herbert Taub, Donald Schilling. **Principles of communication systems**. 2da. Edición; Singapore: Editorial McGraw-Hill, 1986. pp. 519-533.
8. Michael Robin, Michael Poulin. **Digital television fundamentals**. op.cit.,pp 140-142.
9. Adel Sedra, Kenneth Smith. **Circuitos Microelectrónicas**. 4ta. Edición; Mexico: Editorial Mexicana, 1999. pp. 859-862.
10. Michael Robin, Michael Poulin. **Digital television fundamentals**. op.cit.,pp 345-353.
11. Transformada de coseno discreto. http://en.wikipedia.org/wiki/Discrete_cosine_transform#DCT-I. 3 de mayo de 2007.
12. Compresion MPEG-2. http://www.upv.es/satelite/trabajos/Grupo8_99.00/mpeg 21 de abril de 2007.
13. Televisión digital. <http://www.fcc.gov/dtv/>. 14 de abril de 2007

14. Norma CCIR 601. http://es.wikipedia.org/wiki/CCIR_601. 4 de mayo de 2007.
15. Modelo OSI. <http://www.cisco.com/> 4 de mayo de 2007.
16. Michael Robin, Michael Poulin. **Digital television fundamentals**. op.cit.,pp 489-502.
17. Audio AC-3. [http://es.wikipedia.org/wiki/Dolby_Digital_\(AC-3\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Dolby_Digital_(AC-3)). 5 de mayo de 2007.
18. Herrera, Enrique. **Introducción a las telecomunicaciones modernas**. México: Editorial Limusa 1998. pp. 339-345.
19. Borque, Alfredo. **Televisión práctica y sistemas de video**. España: Editorial Paraninfo 1999. pp. 74-85.
20. Implementación DTV. <http://www.conatel.gov.ec>. 28 de abril de 2007.

BIBLIOGRAFÍA

1. Adel Sedra, Kenneth Smith. **Circuitos Microelectrónicos**. 4ta. Edición; Mexico: Editorial Mexicana, 1999. 1237 pp.
2. Audio AC-3. [http://es.wikipedia.org/wiki/Dolby_Digital_\(AC-3\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Dolby_Digital_(AC-3)). 5 de mayo de 2007.
3. Bernard Grob, Charles Herndon. **Televisión práctica y sistemas de video**. 6ta. Edición; México: Editorial Alfaomega 2003. 724 pp.
4. Borque, Alfredo. **Televisión práctica y sistemas de video**. España: Editorial Paraninfo 1999. 186 pp.
5. Compresion MPEG-2.
http://www.upv.es/satelite/trabajos/Grupo8_99.00/mpeg 21 de abril de 2007.
6. Herrera, Enrique. **Introducción a las telecomunicaciones modernas**. México: Editorial Limusa 1998. 403 pp.
7. Ferrel, Stremeler. **Introducción a los sistemas de comunicación**. 3era. Edición; USA Editorial Addison Weley 1992. 741 pp.
8. Herbert Taub, Donald Schilling. **Principles of communication systems**. 2da. Edición;Singapore: Editorial McGraw-Hill, 1986. 759 pp.
9. Implementación DTV. <http://www.conatel.gov.ec>. 28 de abril de 2007.
10. Michael Robin, Michael Poulin. **Digital television fundamentals**. 2da. Edición;USA: Editorial McGraw-Hill, 2000. 730 pp.
11. Mischa Schwartz. **Information Transmission, Modulation and Noise**. Mexico:Editorial Mc Graw-Hill 1983. 742 pp.
12. Modelo OSI. <http://www.cisco.com/>_4 de mayo de 2007.
13. Norma CCIR 601. http://es.wikipedia.org/wiki/CCIR_601. 4 de mayo de 2007.

14. Televisión digital. <http://www.fcc.gov/dtv/>. 14 de abril de 2007.
15. Transformada de coseno discreto.
http://en.wikipedia.org/wiki/Discrete_cosine_transform#DCT-I. 3 de mayo de 2007.
16. Video análogo y digital. <http://pub.ufasta.edu.ar/SISD/tvigital/fqs.htm>.
2 de mayo de 2007.

