



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

**ESTÁNDAR DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (DTT) ATSC E
IMPLEMENTACIÓN DE LA SEÑAL DE TELEVISIÓN DIGITAL DE ALTA
DEFINICIÓN (HDTV) EN GUATEMALA**

Carlos Heleodoro Narciso Rey

Asesorado por el Ing. Pablo Roberto Mérida Rivera

Guatemala, septiembre de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FAULTAD DE INGENIERÍA

**ESTÁNDAR DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (DTT) ATSC E
IMPLEMENTACIÓN DE LA SEÑAL DE TELEVISIÓN DIGITAL DE ALTA
DEFINICIÓN (HDTV) EN GUATEMALA.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

CARLOS HELEODORO NARCISO REY

ASESORADO POR EL INGENIERO PABLO ROBERTO MÉRIDA RIVERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



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 Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Dr. Juan Carlos Córdova Zeceña
EXAMINADOR	Ing. Fernando Waldemar de León Contreras
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

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:

ESTÁNDAR DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (DTT) ATSC E IMPLEMENTACIÓN DE LA SEÑAL DE TELEVISIÓN DIGITAL DE ALTA DEFINICIÓN (HDTV) EN GUATEMALA,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica – Eléctrica, el 8 de abril de 2005.

Carlos Heleodoro Narciso Rey

AGRADECIMIENTOS A:

- DIOS** Benditas gracias por darme sabiduría y ser mi guía en cada momento de mi vida y por haberme dado la familia donde nací.
- MIS PADRES** Ericka y Heliodoro, por toda la confianza y el apoyo que me brindaron e inculcar en mí los principios y valores necesarios para mi vida.
- MIS HERMANOS** Claudia y Fernando, por todo el apoyo que me han brindado
- MI FAMILIA** A mi abuelita, tíos, primos y sobrinos, con mucho cariño y aprecio.
- ASESOR** Ing. Pablo Mérida, por todo su interés, colaboración y tiempo dedicado en el desarrollo de este trabajo de graduación.
- MIS AMIGOS** A cada uno de mis amigos y compañeros de la universidad, que de alguna u otra forma me ayudaron a salir adelante y de hacer amenos y felices los duros caminos del estudio.

ACTO QUE DEDICO A:

- DIOS** Por estar siempre conmigo.
- MIS PADRES** Por brindarme el amor que me levanta después de cada tropiezo de mi vida.
- MI HERMANO** Por ser una de las personas que ha servido para formar mi vida, por tus consejos y cariño incondicional.
- MI HERMANA** Por derramar amor sobre mi en cada momento que lo he necesitado y saber como cuidarme.
- MI ABUELITA** Por las bendiciones derramadas, que Dios la bendiga abuelita.
- MIS SOBRINOS** Diego, Daniel, Sofía y Andrea, por el amor que me dan y la alegría de compartir con ustedes.
- MIS AMIGOS** Gustavo, Oscar, Saúl, Luis René, José, Manolo, Erick, Jorge, Edgar, Alex, Diego, Luis Iván, Luis Fernando, José Leonel, Pedro, Nilson, Wilfredo, Vanessa, Andrea del Rosario, Marylin y Suseli, por hacer de cada día uno mejor, por los consejos y compañía cuando más los necesito, gracias.
- Y** A las personas que saben forman parte de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA TRANSICIÓN DE LA SEÑAL ANALÓGICA A SEÑAL DIGITAL

1.1	Conceptos Generales.....	1
1.1.1	Determinantes del color.....	1
1.1.2	Radiación termina y luminosa.....	2
1.1.3	Conceptos fotométricos.....	3
1.1.4	Flujo luminoso, rendimiento luminoso, lumen.....	5
1.1.5	Intensidad luminosa de una fuente puntual.....	5
1.1.6	Concepto formal de brillo o luminancia.....	7
1.1.7	Iluminación producida por una fuente extensa.....	8
1.1.8	Flujo emitido por una fuente extensa.....	9
1.2	Señales analógica y digital.....	9
1.2.1	Señal analógica.....	7
1.2.1.1	Señal de video compuesta.....	12
1.2.1.2	Colorimetría.....	18
1.2.1.3	Señal por componentes analógicos YPbPr.....	21

1.2.1.4	Señal por componentes analógicos Y/C.....	22
1.2.2.	Señal digital.....	23
1.2.2.1	Conversión analógica a digital (A/D).....	24
1.2.2.2	Muestreo de la señal analógica.....	25
1.2.2.3	Cuantificación de valores muestreados.....	32
1.2.2.4	Relación de señal a ruido (S/N) de la señal digital.....	37
1.2.2.5	Codificación de la señal de video compuesta.....	38
1.2.2.6	Interfaces utilizadas.....	41
1.2.2.7	Decoder.....	42
1.2.2.8	Encoder.....	44
1.3.	Ventajas de la televisión digital frente a la televisión analógica.....	45

2. VIDEO DIGITAL

2.1.	Transmisión de video digital.....	49
2.1.1	Descripción mecánica.....	49
2.1.1.1	Parámetros y características comunes a las señales digitales bits serie y paralelo.....	49
2.1.1.2	Relación entre la línea activa y digital y la referencia analógica de sincronismo.....	52
2.1.2	Identificación del tren de datos.....	55
2.1.3	Tiempos de la señal digital.....	62
2.1.4	Interfaces.....	63
2.1.4.1	Interfaz para bits serie. Señal SDI.....	64
2.1.5	Codificación de la señal SDI.....	65
2.1.6	Señal de datos y clock.....	68
2.1.7	Medición de la señal SDI.....	69

2.1.8	Características principales de la interfaz para bits serie (SDI).....	72
2.2	Compresión de imágenes.....	74
2.2.1	El porque de la compresión.....	74
2.2.2	La compresión de video MPEG-2.....	74
2.2.3	La televisión digital en transmisión.....	78
2.2.4	Capacidad de programas a transmitir.....	80
2.2.5	Multiplexado estadístico.....	89
2.2.6	El proceso de transmisión y recepción con señales comprimidas.....	92
2.3	Estándares de Compresión digital.....	94
2.3.1	Características principales del estándar de video MPEG-2.....	95
2.3.2	Perfiles y Niveles en MPEG-2.....	97
2.3.2.1	Perfiles vs. Nivel Bajo.....	98
2.3.2.2	Perfiles vs. Nivel Principal.....	99
2.3.2.3	Perfiles vs. Nivel Alto (High 14).....	100
2.3.2.4	Perfiles vs. Nivel Alto (High).....	101
2.3.2.5	Perfil Principal / Nivel Principal (MP@ML).....	102
2.3.3	Estándar de audio MPEG-2.....	103
2.3.4	Capas de audio en MPEG-2.....	105
2.3.4.1	Capa I de audio.....	106
2.3.4.2	Capa II de audio.....	107
2.3.4.3	Capa III de audio.....	108

3. ANÁLISIS DE LA SEÑAL DE TELEVISIÓN DE ALTA DEFINICIÓN (HDTV)

3.1	Estándares de (HDTV).....	111
3.2	Valores teóricos relativos a un estándar de HDTV.....	115

3.2.1	Detalles de temporización de campo para 1250/50/2:1.....	115
3.2.2	La relación de aspecto 16:9.....	115
3.2.3	La señal de video compuesta en HDTV analógica.....	118
3.2.4	Estándares 1250/50 y 1125/60.....	121
3.3	Radiodifusión de señales de HDTV.....	122
3.3.1	Digitalización de la señal de HDTV.....	122
3.3.2	Formatos de HDTV.....	123
3.3.3	Digitalización de la señal. Parámetros para 1125/60/2:1 y 1250/50/2:1 en la estructura 4:2:2.....	124
3.3.4	Cálculo de la velocidad binaria.....	126
3.3.5	Niveles de cuantificación para 8 y 10 bits.....	127
3.4	Generalidades del sistema HDTV.....	127

4. ESTÁNDAR ATSC, ASPECTOS REGULATORIOS EN GUATEMALA

4.1	Legislación y normatividad.....	131
4.1.1	Disposiciones generales.....	131
4.1.2	Espectro radioeléctrico, bandas de frecuencias reguladas.....	132
4.1.3	Recursos contra resoluciones.....	137
4.1.4	Normatividad.....	138
4.2	Tendencias del mercado en TV digital.....	139
4.2.1	Modelos de negocio de la TVD terrestre.....	144
4.2.1.1	Cestas de Servicios.....	144
4.2.1.2	Sistemas de Ingresos.....	144
4.2.1.3	Tecnologías subyacentes.....	145
4.3	Normas ATSC.....	147

5. ENFOQUE NACIONAL, IMPLEMENTACIÓN Y APLICACIONES DE DTT

5.1	Implementación de HDTV.....	154
5.1.1	Criterio de asignación de frecuencias para DTV en EE.UU.....	154
5.1.2	Asignación de frecuencias para DTV en EE. UU.....	155
5.1.3	Asignación de frecuencias para DTV en Guatemala.....	159
5.1.4	Modelos de nivel de infraestructura en Estados Unidos que se tomaran de ejemplo para la Implementación de televisión Analógica a Digital en Guatemala.....	160
5.1.4.1	Requerimientos para transmisión analógica.....	161
5.1.4.2	Infraestructura de la televisión actual en Guatemala.....	170
5.1.4.3	Infraestructura analógica existente.....	173
5.1.4.4	Infraestructura existente SDI y nueva planta en H DTV.....	175
5.1.4.5	Infraestructura en HDTV.....	178
5.1.5	Comparación entre las actuaciones de transmisores de televisión digitales y analógicos.....	180
5.1.6	Servicios existentes en la TV libre y gratuita analógica.....	181
5.2	Enfoques Nacionales para determinar necesidades, objetivos y políticas	184
5.3	Aplicaciones de televisión digital.....	186
5.3.1	Como se espera que sea la televisión.....	186
5.3.2	Campo de aplicación del HDV.....	188
5.3.3	Aplicaciones.....	188
5.3.4	Futuro de la HDTV.....	189
	CONCLUSIONES.....	191
	RECOMENDACIÓN.....	195
	BIBLIOGRAFÍA.....	197

E - GRAFÍA	199
-------------------------	-----

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Curva 1 sensibilidad fotópica, Curva 2 Sensibilidad escotópica	4
2.	Intensidad Luminosa	6
3.	Área Luminosa	7
4.	Brillo en dirección α	8
5.	Barrido entrelazado y progresivo en 625/50.	11
6.	Parámetros principales de la señal de luminancia.	13
7.	Señal de croma.	15
8.	Señal de video compuesta de color	17
9.	Triangulo de Maxwell donde se representan los tres colores primario y los tres colores secundarios o complementarios.	19
10.	Conversor A/D.	24
11.	Espectro en banda base de la señal a muestrear	26
12.	Espectro de los pulsos de muestreo.	27
13.	Aliasing causado por una baja frecuencia de muestreo	28
14.	Señal muestreada con una baja frecuencia de muestreo	29
15.	Espectro de la frecuencia de muestreo.	30
16.	Señal muestreada con una frecuencia de muestreo correcta	31
17.	Cuantificación a 3 bits por muestra	33
18.	Niveles de cuantificación para la señal de luminancia para 8 y 10 bits por muestra	34
19.	Niveles de cuantificación y valores binarios asignados para 8 bits	36
20.	Niveles de cuantificación para 8 bits para las señales Cb y Cr	37
21.	Niveles de cuantificación para una señal PAL Digital Compuesta	39

22. Esquema de un Decoder típico	42
23. Decoder por componentes analógicos a SDI-4:2:2	43
24. Encoder típico	44
25. Encoder SDI a componentes analógicos	45
26. Ventajas de la Televisión Digital en transmisión.	47
27. Primeras cuatro muestras de la línea activa digital y el orden de las muestras en el tren de datos	51
28. Últimas muestras en el tren de datos	52
29. Relación entre la línea activa digital y la referencia analógica de sincronismo. Esta corresponde para 625/50 y una frecuencia de muestreo de 13,5 MHz para la señal de luminancia.	53
30. Relación entre la línea activa digital y la referencia analógica de sincronismo. Esta corresponde para 525/60 y una frecuencia de muestreo de 13,5 MHz para la señal de luminancia.	54
31. Estructura de los cuatro bytes de sincronización, para una cuantificación de 8 bits por muestra de resolución.	56
32. Las cuatro palabras para la sincronización en 10 bits.	61
33. Período de línea activa digital del SAV	62
34. Período de línea activa digital del EAV	63
35. Diagrama de interconexión en SDI de dos equipos	65
36. Codificación polinómica.	66
37. Relaciones para la codificación NRZ y NRZI.	68
38. Señal de datos y clock.	69
39. Diagrama de ojos de la señal SDI mostrada en un display	70
40. Especificaciones de la señal SDI	71
41. Caso práctico de un Emisor y un Receptor para el análisis de la interfaz	73
42. Proceso de compresión de video	75
43. Compresión y decompresión de datos	78
44. Espectro aproximado que ocupan las señales digitales SDTV y HDTV	

sin comprimir. Comparación con el espectro que ocupa la televisión analógica en 6 MHz de ancho de banda Las cuatro palabras para la sincronización en 10 bits.	79
45. Calidad de la señal digital en función de la velocidad binaria	81
46. Velocidades binarias para distintos tipos de programas	83
47. Capacidad de programas comprimidos a transmitir en 6 MHz de ancho de banda, para señales SDI de 360 Mbps Las cuatro palabras para la sincronización en 10 bits.	85
48. Compatibilidad de la Televisión Digital Terrestre(DTT) con otros medios	87
49. Capacidad de programas comprimidos a transmitir en 6 MHz de ancho de banda, para señales HDTV y SDTV	88
50. Transmisión de tres programas comprimidos en SDTV a 19,3 Mbps de velocidad binaria total	89
51. Velocidad fija de 8 Mbps para un programa de deportes con movimientos rápidos. Multiplexado común	91
52. Velocidad binaria variable para un programa de deportes con movimientos rápidos. Multiplexado estadístico	91
53. Proceso básico para la transmisión de una señal digital	93
54. Características del estándar de video MPEG-2	95
55. Comparación de los cinco perfiles con el Nivel Bajo	99
56. Comparación de los cinco perfiles con el Nivel Principal	100
57. Comparación de los cinco perfiles con el Nivel Alto 14 (High 14)	101
58. Comparación de los cinco perfiles con el Nivel Alto (High).	102
59. Especificaciones del Perfil Principal/Nivel Principal de MPEG-2 para 625/50 y 525/60	103
60. Características principales de la capa I de audio	106
61. Características principales de la capa II de audio	107
62. Características principales de la capa II de audio	108
63. Parámetros de barrido del estándar 1125/60, que habían solicitado EE.UU.,	

Canadá y Japón al CCIR en 1985	112
64. Parámetros de barrido para el sistema 1250/50, solicitado por varios países de Europa al CCIR en 1987	113
65. Estándar único propuesto por el SMPTE en 1994	114
66. Comparación de las distintas relaciones de aspecto de pantalla de 4:3 y 16:9, con el cine de pantalla ancha	116
67. Ángulo de visión horizontal para pantallas de 4:3 y 16:9	117
68. Señal de video compuesta de HDTV analógica, con el pulso de sincronismo de doble polaridad	118
69. Corrimiento del punto OH, como consecuencia de la compresión de la amplitud del pulso de sincronismo	119
70. Pulso de sincronismo de doble polaridad de la señal de HDTV analógica	120
71. Líneas 625 y 1250 en el estándar 1250/50, con barrido entrelazado	121
72. Cantidad de muestras por línea total y por línea activa en el estándar 1250/50. Entre paréntesis figuran los parámetros para 1125/60	122
73. Modelo de teledifusión terrestre según la ITU-R	129
74. Distribución de canales en NTSC y DTV en EE.UU.	153
75. Ejemplo de asignación de frecuencia para DTV, durante la Transición	156
76. Otro caso de asignación de frecuencia para DTV, durante la transición y después de la misma	157
77. Otro ejemplo de asignación para DTV, durante la transición y después de la misma	158
78. Diagrama de bloques de un transmisor de TV Analógico	167
79. Infraestructura TV analógica canal UHF canal 33, Canal Universitario.	171
80. Infraestructura analógica existente y adaptación para HDTV. Reproducida con permiso de Snell Wilcox	173
81. Infraestructura digital serie SDI y HDTV. Reproducida con permiso de Snell y Wilcox Las cuatro palabras para la sincronización en 10 bits.	178
82. Infraestructura en HDTV. Reproducida con permiso de Snell y Wilcox.	180

TABLAS

I.	Niveles de señal de luminancia	14
II.	Parámetros de barrido y sincronización de la señal de video.	18
III.	Valores de amplitud para la señal por componentes analógicos	21
IV.	Niveles de componentes analógicos	22
V.	Parámetros principales de la codificación de la señal de video compuesta	40
VI.	Identificaciones de intervalos de campos	59
VII.	Distintas configuraciones que pueden tomar las identificaciones F, V y H para 8 bits con los bits de protección.	60
VIII.	Análisis de las distintas configuraciones que pueden tomar F, V y H.	61
IX.	Relaciones de tiempos de la señal digital para 625/50 y 525/60	62
X.	Parámetros que se pueden medir en la señal SDI	71
XI.	Características principales de la señal de bits serie o SDI.	72
XII.	Detalles de temporización de campo para el sistema 1250/50/2:1	115
XIII.	Parámetros de la codificación digital para 1125/60 y 1250/50	125
XIV.	Niveles de cuantificación en HDTV para 8 y 10 bits	127

GLOSARIO

A/D	Convertidor de analógico a digital
ATM	<i>Asynchronous transfer mode</i> , modo de transferencia asíncrona, un protocolo para el transporte eficiente de señales digitales de régimen continuo o a ráfagas, en redes digitales de banda ancha. El flujo de ATM consiste en paquetes de longitud fija llamados celtas, que contienen cada uno 53 bytes de 8 bits, un encabezamiento de 5 bytes y 48 bytes de información.
BIT RATE	<i>Régimen de bits</i> , el régimen de velocidad a que se entrega el flujo comprimido de bits del canal a la entrada de un decodificador.
Bps	Bits por segundo
BYTE-ALIGNED	<i>Alineado en byte</i> , un bit de un flujo de datos está alineado en byte si su posición es un múltiplo 8 bits del primer bit de flujo.
CHANNEL	<i>Canal</i> , un medio digital que guarda o transporta un flujo de televisión digital.
COMPRESSION	<i>Compresión</i> , reducción del número de bits usados para representar un ítem de datos
DECODER	<i>Decodificador</i> , elemento que realiza el proceso de descodificación.

ENCODER	<i>Codificador</i> , elemento que realiza el proceso de codificación.
FIELD	<i>Campo</i> , en una señal de video entrelazado, un campo es el conjunto de líneas alternas de un cuadro. Por lo tanto, un cuadro entrelazado esta compuesto de dos campos, un campo superior y un campo inferior.
FRAME	<i>Cuadro</i> , un cuadro contiene línea de información espacial de una señal de video. En el video progresivo, estas líneas contienen muestras que comienzan en un instante dado y continúan a través de líneas sucesivas hasta el pie del cuadro. En el video entrelazado un cuadro consiste de dos campos, uno superior y otro inferior. Uno de estos campos comienza luego de el anterior se ha completado.
HDTV	HIGH DEFINITION TELEVISION, televisión de alta definición tiene una resolución de aproximadamente el doble de la televisión convencional tanto en la dimensión horizontal (H) como vertical (V), y una relación de aspecto (HxV) de 16:9. La recomendación 1125 de ITU-R define como “calidad de HDTV” una imagen que es subjetivamente idéntica al estándar de estudio de HDTV entrelazado.
IEC	<i>Internacional Electrotechnical Commission</i> , Comisión Electrotécnica Internacional.
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> , Organización Internacional de Normas.

ITU	<i>International Telecommunication Union</i> , Union Internacional para las Telecomunicaciones.
JEC	<i>Joint Engineering Comité of EIA and NCTA</i> , Comité técnico conjunto de EIA y NCTA, subconjunto de la sintaxis de la especificación de la codificación de video MPEG-2 que se espera sea adoptado por un gran numero de aplicaciones.
LAYER	<i>Capa</i> , uno de los niveles en la jerarquía de datos de la especificación de video y del sistema.
LEVEL	<i>Nivel</i> , conjunto de parámetros permitidos de imagen y combinaciones de parámetros de imagen.
MAIL LEVEL	<i>Nivel principal</i> , conjunto de parámetros permitidos de imagen definido por la especificación MPEG-2 con una resolución máxima equivalente a la Recomendación 601 de la ITU-R.
MAIN PROFILE	<i>Perfil principal</i> , subconjunto de la sintaxis de la especificación de la codificación de video MPEG-2 que se espera sea adoptado por un gran numero de aplicaciones.
MP@HL	<i>Main profile at high label</i> , perfil principal a alto nivel.
MPEG	Normas desarrolladas por el Grupo de Expertos de Imágenes en Movimiento, <i>Moving Picture Experts Group</i> , <i>ISO/IEC JTC1/SC29 WG11</i> , MPEG, también, puede referirse al Grupo mismo.

MPEG-2	Normas ISO/IEC 13818-1, <i>Sistemas</i> , 13818-2, <i>Video</i> , 13818-3, <i>Audio</i> , 13818-4, <i>Conformación</i> .
QUANTIZER	<i>Cuantificador</i> , etapa del procesamiento que intencionalmente reduce la precisión de los coeficientes de la transformada discreta del coseno.
SCRAMBLING	Alteración de las características de un flujo codificado de video o audio para evitar la recepción no autorizada. Esta alteración es un proceso especificado bajo el control de un sistema de acceso condicional.
SMPTE	<i>Society of Motion Picture an Television Engineers</i> , sociedad de Ingenieros de Cine y Televisión.
SDTV	<i>Standard Definition Television</i> , televisión de resolución estándar, esta expresión nombra a un sistema de televisión digital cuya calidad equivale aproximadamente a NTSC. Esta calidad puede lograrse de imágenes obtenidas mediante el nivel 4:2:2 de la Recomendación 601 de la ITU-R y sometidas a un procesamiento como parte de la compresión del régimen de bits. Los resultados deben ser tales que cuando se juzgan mediante una muestra representativa de materiales de programación, se logra una equivalencia subjetiva con NTSC. También llamada televisión digital estándar.
8-VSB	<i>Vestigial sideband modulation</i> , modulación lateral vestigial, con 8 niveles de amplitud discretos.

16-VSB

Vestigial sideband modulation, modulación lateral vestigial, con 16 niveles de amplitud discretos.

RESUMEN

Los objetivos de este estudio de la señal de televisión de alta definición es exponer el desarrollo y cambios requeridos para poder realizar la transición de la señal de televisión analógica hacia señal de televisión digital, donde se trata de llevar un patrón apegado a la norma de televisión digital ATSC, con el cual se pueda observar el nivel de implementación que se tendría que realizar en Guatemala, tanto a nivel tecnológico como a nivel sociopolítico.

Dentro del presente trabajo se presentan las ventajas de la señal de video digital frente a la señal analógica, siendo, claramente, significativos los que obtendríamos con la señal digital, donde se ofrece una variedad de servicios y aplicaciones que son de mucha conveniencia, tanto para los emisores de televisión como para los usuarios.

La televisión digital, en Guatemala, está envuelta en una incertidumbre nacional, ya que, existen varias tecnologías que pujan para poder ser ellas las elegidas, con lo que conlleva la autorización a nivel de estado para poder ser implementada en las emisoras ya de forma lícita. Pero, juega un papel muy relevante, no tanto en la parte tecnológica sino en puntos como la economía, orientación del mercado, influencia extranjera, etc. y la más importante la política.

Se analiza con más interés la señal de televisión de alta definición, la cual es una de las tantas aplicaciones de la televisión digital terrestre. Por lo que se exhiben varios tipos para la implementación de la emisión de HDTV, con el nivel de tecnología que poseen las emisoras que tienen, actualmente, y así iniciar la migración a esta nueva tecnología.

OBJETIVOS

➤ **General**

Analizar los parámetros de digitalización de la señal digital de alta definición basándose en las normas del estándar ATSC para la implementación en emisoras guatemaltecas.

➤ **Específicos**

1. Exponer las ventajas de la señal de video digital frente a la señal analógica.
2. Exhibir el desarrollo que se realiza con la señal de video digital.
3. Conocer los aspectos Regulatorios y de Mercado estimando el plazo para la estandarización de televisión digital en Guatemala.
4. Analizar la señal de HDTV según normas ATSC y presentar la gama de aplicaciones que se obtiene de la televisión digital terrenal en Guatemala.

INTRODUCCIÓN

Esta nueva tecnología de Televisión Digital creará una revolución en el mundo de las comunicaciones, trayendo consigo cambios significativos en imágenes y sonido.

La transición de la Televisión Analógica a la Televisión Digital Terrestre producirá un impacto similar y más importante que el producido por el cambio de blanco y negro a color. Debido a lo que ha avanzado la tecnología en los últimos años y existiendo tres corrientes principales de comunicaciones, como lo son: las plataformas de telecomunicaciones, la informática y la radiodifusión, la Televisión Digital está logrando una convergencia entre ellas y, así, una concentración de nuevas oportunidades de negocios, nuevos servicios y aplicaciones adicionales.

Dentro de la Televisión Digital Terrestre se encuentran aplicaciones como emisión de múltiples programas en el mismo ancho de banda que ocupa un canal actual, emisión de un programa de Alta definición (HDTV) en el mismo ancho de banda que ocupa un canal actual, mejor calidad de imagen y sonido, datos broadcasting, televisión interactiva, acceso a Internet. Además este tema, permitirá investigar y desarrollar la teoría del estándar de Televisión Digital Terrestre ATSC donde se podrán conocer sus ventajas y desventajas.

El objetivo del estudio es, el análisis de los parámetros de digitalización de la señal digital de televisión de alta definición (HDTV) para emisión de programas en Guatemala. Donde se introducirá a la digitalización de la señal de televisión, las ventajas y desventajas, análisis de los parámetros de digitalización y variedad de aplicaciones de ésta.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE TRANSICIÓN DE SEÑAL ANALÓGICA A SEÑAL DIGITAL

1.1 Conceptos Generales

1.1.1 Determinantes del Color

Distinguimos los siguientes tipos de motivaciones del color:

Los diversos manantiales lumínicos por sí mismos, que puedan emitir luz en un espectro continuo, como el Sol, la luz incandescente de una bombilla, etc., y los espectros de rayas, como la lámpara de vapor de mercurio, la lámpara fluorescente de gas, etcétera.

Los cuerpos opacos no luminosos por sí mismos, que presentan un color que depende de la relación intensidad difunda-intensidad incidente en función de la longitud de onda λ , y que explica los fenómenos de la mezcla sustractiva.

Los cuerpos transparentes no luminosos. Cuando se ilumina un cuerpo transparente no luminoso, los colores que determina la reflexión, son distintos a los que presenta la transmisión, y son exclusivamente función de la relación factor de reflexión-longitud de onda λ . Aquí puede hacerse mención de los filtros dicróicos en las cámaras de televisión en color para la selección adecuada de los colores primarios.

Cuerpos de estructura foliácea o estriada. Los colores que presentan estos cuerpos, como las alas de mariposa, el nácar, etc., se deben a fenómenos de interferencia, difusión, etc., de naturaleza física compleja.

1.1.2 Radiación Térmica y Luminosa

Se denomina emisor a cualquier fuente de ondas electromagnéticas. La energía transportada por dichas ondas se denomina energía radiante y al proceso por el que se engendra esta energía se llama radiación.

La distribución de energía en el espectro está determinada casi exclusivamente por la temperatura de una superficie emisora. Es un fenómeno conocido que los sólidos y líquidos radian luz visible para altas temperaturas. Esta luz es por supuesto energía radiante. Sin embargo a bajas temperaturas la longitud de onda de radiación es muy grande y se encuentra fuera del espectro visible. Se requiere un aumento de la temperatura para que exista suficiente radiación en dicho espectro y el cuerpo aparezca luminoso por sí mismo.

Se denomina flujo radiante a la energía emitida por un manantial en la unidad de tiempo. Se mide en vatios.

El flujo radiante que incide sobre una superficie por unidad de área se llama irradiación y se mide en vatios/cm². Una parte de este flujo es absorbido dependiendo de la naturaleza de la superficie y el resto reflejado. El porcentaje del primero se denomina poder absorbente y el segundo poder reflectante. La suma de ambos para una misma superficie es igual a la unidad: $p + q = 1$.

Se denomina cuerpo negro o radiador integral a aquella superficie negra ideal que absorbe toda la energía radiante incidente. En otras palabras, ninguna superficie puede tener un poder emisivo mayor que un cuerpo negro a una temperatura dada.

Se denomina poder emisivo de una superficie al flujo radiante emitido por unidad de área. El poder emisivo espectral W_λ es el poder emisivo por unidad de intervalo e longitud de onda. Se mide en $(\text{vatios}/\text{m}^2)/\text{m}_\mu$.

El poder emisivo espectral W_λ de un cuerpo negro, para una temperatura dada, alcanza un máximo en una cierta longitud de onda λ_m .

1.1.3 Conceptos Fotométricos

Los conceptos y unidades fotométricas han sido estudiados tomando dos modelos fundamentales:

Luz blanca (espectro visible)

El ojo humano.

Estos modelos nos permiten la introducción de factores objetivos y subjetivos de capital importancia en el estudio de una teoría del color. La sensación visual que resulta cuando un flujo radiante incide sobre la retina del ojo tiene tres características: matiz o tono, saturación y brillo.

El término matiz o tono se refiere a aquella característica que permite clasificar un color como rojo, verde, azul, etc., y está determinado por la correspondencia color-longitud de onda.

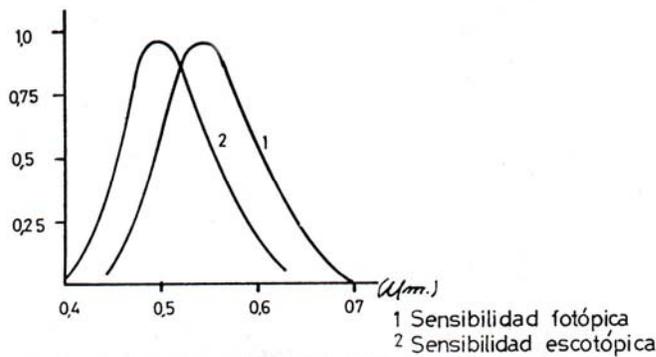
Por saturación se entiende el grado por el cual un color se separa del gris neutro para aproximarse a un color puro del espectro. Un gris neutro tiene una saturación nula y un color espectral puro tiene 100% de saturación.

El brillo es la característica de cualquier sensación de color que permite clasificarla como equivalente a la sensación producida por un elemento de una escala gradual y sucesiva de grises neutros.

Iguals cantidades de flujo radiante de distintas longitudes de onda, no producen iguales sensaciones, de brillo. La función que representa esta dependencia se denomina curva de sensibilidad o de luminosidad.

De los trabajos experimentales sobre un gran número de personas, realizados por la Comisión Internacional de Iluminación (ICE), se obtuvo el sorprendente resultado de que hay que distinguir en el ojo humano, la sensibilidad frente a la iluminación normal o fuerte, a la que denominamos curva de sensibilidad fotópica, de la sensibilidad frente a iluminaciones débiles, a la que denominamos curva de sensibilidad escotópica. La figura 1, muestra ambas curvas y de ellas podemos deducir, que el ojo humano, es más sensible al azul con iluminaciones débiles que fuertes.

Figura 1. Curva 1 sensibilidad fotópica, Curva 2 Sensibilidad escotópica



Fuente: Sistemas de Televisión Clásicos y Avanzados, Radiación térmica y luminosa, Pág. 22.

Todos los cálculos realizados en televisión en color, se hacen sobre la curva de sensibilidad fotópica, a la que el ICE denomina curva patrón de luminosidad.

1.1.4 Flujo luminoso, rendimiento luminoso, lumen

El flujo radiante, evaluado por su capacidad para evocar la sensación de brillo se denomina flujo luminoso. La unidad de flujo luminoso es el lumen. El máximo de la curva patrón de luminosidad corresponde a una longitud de onda de 555 mμ. Evidentemente, el lumen no se corresponde con un número fijo de vatios. Por ejemplo si elegimos una longitud de onda de 500 mμ la luminosidad relativa deducida de la curva es de 0,5 y por consiguiente el flujo luminoso o la sensación evocadora de brillo es la mitad del obtenido a 555 mμ.

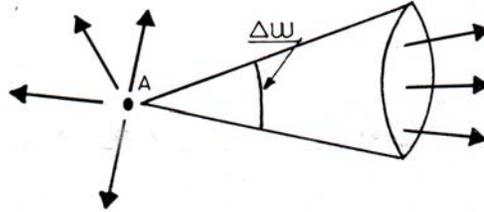
Se llama rendimiento luminoso de un flujo cualquiera, al cociente entre el flujo luminoso y el flujo radiante, se expresa en lúmenes/vatio. A 555 mμ el flujo luminoso obtenido con un vatio de radiación es una cantidad conocida y fija: 685 lúmenes, y por consiguiente diremos que el rendimiento luminoso de un flujo monocromático de 555 mμ es de 685 lúmenes/vatio. A 500 mμ 1 vatio de flujo radiante produce $0,5 \times 685 = 342$ lúmenes.

Cuando el flujo radiante no es monocromático, lo que es muy común en la práctica, el rendimiento luminoso ha de obtenerse necesariamente por procedimientos de integración matemática.

1.1.5 Intensidad luminosa de una fuente puntual

Dada una fuente puntual A, se llama intensidad luminosa al flujo emitido por unidad de ángulo sólido, figura 2, y se mide en lúmenes/estereorradián (candelas).

Figura 2. Intensidad Luminosa



Fuente: Sistemas de Televisión Clásicos y Avanzados,
Intensidad Luminosa de una Fuente Puntual, Pág. 24.

En general, las fuentes no emiten flujos iguales por unidad de ángulo sólido en todas las direcciones. Un ejemplo bien evidente es el de una bombilla, la cual no emite flujo alguno en la dirección de su casquillo. Desde un punto de vista teórico se considerarán, sin embargo, fuentes puntuales uniformes.

Un estereorradián es el ángulo sólido cuyo vértice es el centro de una esfera, que abarca una superficie de la misma igual al cuadrado del radio. Como el área de una esfera $4\pi R^2$, alrededor de un punto hay 4π estereorradianes.

Un ángulo ω que abarque un área S de una esfera tiene por tanto s/R^2 estereorradianes, por consiguiente, el flujo total emitido por una fuente puntual uniforme es:

$$I \times 4\pi = 4\pi \text{ / lúmenes.}$$

1.1.6 Iluminación

Es el flujo luminoso incidente por unidad de área. Si ΔF es el flujo luminoso que incide sobre un incremento de superficie ΔS entonces:

$$\text{Iluminación } E = \Delta F / \Delta S$$

La iluminación se mide en lúmenes / m², 1 lumen / m² = 1 lux. Si F es el flujo luminoso total sobre una superficie S y la iluminación es uniforme entonces: $E = F / S$

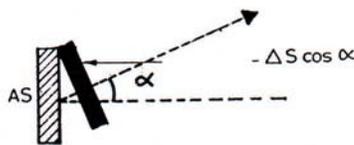
1.1.6 Concepto formal de brillo o luminancia

Para modelar se toman las fuentes puntuales pero en la realidad esto no es el caso general que se presenta en la práctica donde se hace preciso considerar fuentes de dimensión finita como por ejemplo, la pantalla de un receptor de televisión o los dispositivos de iluminación de estudios equipados con difusores.

Para estos casos interesa considerar el concepto de brillo. Se define brillo como la intensidad por unidad área proyectada.

Sea ΔS un elemento de área luminosa, figura 3, su proyección según la dirección α vale: $\Delta S \cos \alpha$.

Figura 3. Área Luminosa



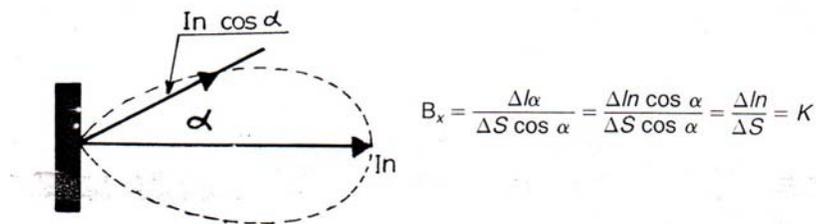
Fuente: Sistemas de Televisión Clásicos y Avanzados,
Concepto Formal de Brillo o Luminancia, Pág. 26.

Si la intensidad luminosa de la fuente extensa varía con la dirección α siguiendo la ley de Lambert:

$$\Delta I_{\alpha} = \Delta I_n \cos \alpha$$

Lo que puede suponerse cierto para la casi generalidad de las fuentes de dimensión finita, esto es, que la intensidad es máxima para la normal y nula para la tangente a ΔS ; entonces el brillo según la dirección α es, figura 4:

Figura 4. Brillo en dirección α



Fuente: Sistemas de Televisión Clásicos y Avanzados,
Concepto Formal de Brillo o Luminancia, Pág. 27.

Es decir, que no depende del ángulo con que se mire, conclusión interesante en televisión, puesto que un observador puede mirar normalmente al centro de pantalla del receptor, sin pérdida de la misma sensación de brillo para cualquier parte de la pantalla.

Cuando una fuente se comporta siguiendo la ley de Lambert se dice que es perfectamente difusora. El brillo se mide en candelas/m² al que se denomina nit. También es muy usado el Stilb = 1candela/m² = 10⁴ nit.

1.1.7 Iluminación producida por una fuente extensa

La iluminación que produce una fuente extensa que emite difusamente, requiere procedimientos de integración matemática. En general, podemos decir que cada elemento de superficie de la fuente se encuentra a diferente distancia de un punto dado de la superficie iluminada y la dirección desde dicho punto varía respecto a cada punto de la fuente. Por consiguiente es posible calcular dicha iluminación cuando se conoce la

distribución de intensidad luminosa de la superficie de la fuente, lo cual implica conocer la forma geométrica de la misma. Si ésta es regular y elemental entonces el cálculo se simplifica.

1.1.8 Flujo emitido por una fuente extensa

El cálculo del flujo total emitido, tanto por transmisión como por reflexión por una superficie difusa, requiere métodos de integración matemática debido a que la intensidad de la superficie no es igual para todas las direcciones, y por consiguiente debe conocerse la función de distribución de la intensidad según el ángulo de dirección.

Cuando el brillo es independiente del ángulo, esto es, se trata de una fuente perfectamente difusa, entonces la integración aludida, da por resultado: $\Delta F = \pi B \Delta S$

Al cociente $\Delta F / \Delta S = \pi B$ se le llama radiancia luminosa y está relacionada directamente con el brillo por el factor π .

1.2 Señales analógica y digital

1.2.1 La señal analógica

El Primer sistema de televisión color que se implementó en el mundo, fue el NTSC (Nacional Televisión Standard Comité). Este fue desarrollado en EE.UU. en 1950, mientras que las emisiones regulares comenzaron en ese país en 1954. Posteriormente, este sistema fue adoptado por Japón, Canadá y gran parte de los países de América.

En 1961 se desarrolló en Alemania el sistema PAL (Phase alternate Line). Este sistema venía a corregir los errores de fase producidos por el NTSC. El sistema PAL fue adoptado en Alemania e Inglaterra en 1967. Posteriormente, lo fueron adoptando la

mayoría de los países de Europa Occidental. El tercer sistema es el SECAM (Sequentiel Couler a Memoire). Este fue desarrollado en Francia y adoptado por este país y los países de Europa Oriental.

Los tres sistemas (PAL, NTSC y SECAM) tienen parámetros en común, que son los mismos que habían sido adoptados desde sus inicios en la televisión en blanco y negro o sea; barrido entrelazado y una relación de aspecto de 4:3. El barrido entrelazado, como se verá luego, consiste en barrer cada cuadro dos veces.

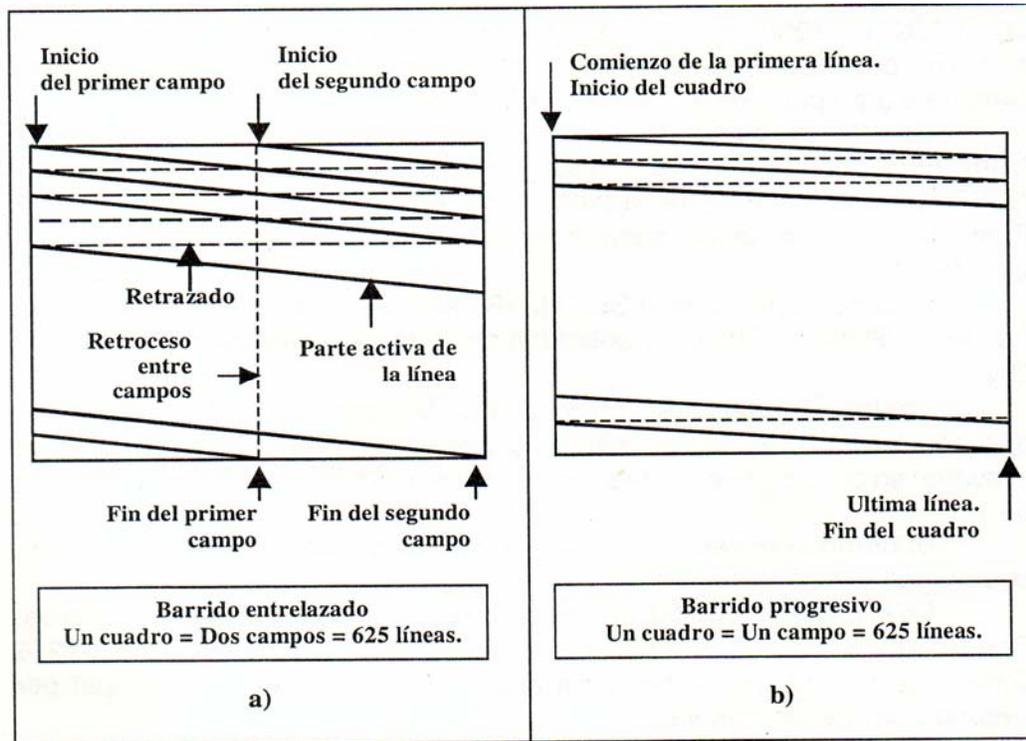
En el estándar 625/50, en un cuadro se barren 625 líneas horizontales. Como se exploran dos campos por cuadro, en cada campo se barren $312 \frac{1}{2}$ líneas. La exploración se realiza a razón de 25 cuadros (50 campos) por segundo, lo que representa: $625 \text{ líneas/cuadro} \times 25 \text{ cuadros/seg.} = 15.625 \text{ Hz}$, que es la frecuencia del barrido horizontal.

En el estándar 525/60, se exploran 525 líneas horizontales por cuadro. Cada cuadro es barrido dos veces, a razón de dos campos por cuadro. De ésta manera, se exploran 30 cuadros (60 campos) por segundo.

Con el barrido entrelazado, en el primer campo se exploran las líneas impares y en el segundo campo las líneas pares. La media línea al final del primer campo y la media línea al comienzo del segundo campo, produce el entrelazado.

El segundo tipo de barrido se denomina progresivo. En este caso, se barre en forma consecutiva toda la imagen. En la figura 5, se representan ambos tipos de barrido para el estándar 625/50. En la parte a de la figura 5, se muestra el barrido entrelazado y en la parte b de la misma, el barrido progresivo.

Figura 5. Barrido entrelazado y progresivo en 625/50.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Televisión Analógica, Pág. 4.

El umbral del parpadeo del ojo es de aproximadamente 40 imágenes por segundo. Para no aumentar el ancho de banda del espectro, el efecto o truco de barrer dos campos por cuadro (barrido entrelazado), ha sido una solución desde el inicio de la televisión.

Con el barrido progresivo la resolución aumenta, pero el ancho de banda se incrementa al doble. En el estándar 625/50 con barrido entrelazado (2:1), de las 625 líneas que se exploran, 575 corresponden a las líneas activas y las 50 líneas restantes, se pierden en el retrazado.

Con el advenimiento de la televisión Digital, se ha cambiado el concepto de barrido en televisión. Referente a la relación de aspecto, recordemos que es la relación entre la base y la altura de la imagen. Desde el origen de la televisión siempre se ha utilizado la tradicional relación de 4:3 o sea 4 de base y 3 de altura, midiéndose el tamaño de la pantalla en pulgadas de la diagonal.

Sin embargo, el concepto de relación de aspecto, cambió desde que apareció la Televisión de Alta Definición analógica. Mucho tiempo después de implementarse la televisión color, aparece la Televisión de Alta Definición (HDTV). Este nuevo sistema sería incompatible con los tres sistemas de televisión analógicos vigentes (PAL, NTSC, SECAM).

En 1970 la NHK en Japón, ya presentaba un nuevo sistema de Alta Definición analógica, cuyas características principales eran; 1.125 líneas con barrido entrelazado, una relación de aspecto de 5:3 y un ancho de banda del canal de luminancia de 30 MHz. Posteriormente, se adoptó para HDTV la relación de aspecto de 16:9, siendo esta un valor cuadrático de la relación 4:3.

1.2.1.1 La señal de video compuesta

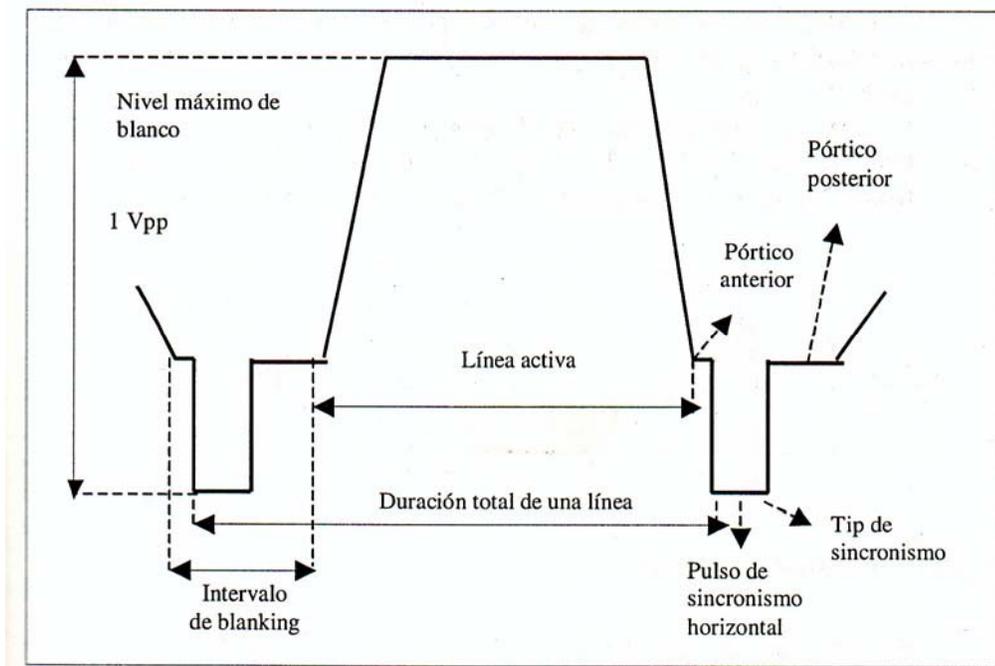
La señal de video compuesta en televisión color, está formada por la señal de luminancia más la señal de croma. La señal de luminancia, representa el brillo de la imagen y es la que mayor ancho de banda posee, mientras que la señal de croma lleva implícita la fase y la saturación del color, donde esta señal posee un ancho de banda pequeño.

La señal de luminancia (Y) está formada por una 30% de componente de rojo (R), un 59% de componente de verde (G) y un 11% de componente de azul (B) o sea:

$$Y = 0,30 R + 0,59 G + 0,11 B$$

Esta señal está compuesta por el brillo relativo de los tres colores primarios RGB. En la figura 6 se muestra la forma de onda típica de la señal de luminancia y los parámetros característicos de la misma.

Figura 6. Parámetros principales de la señal de luminancia.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Televisión Analógica, Pág. 7.

La amplitud de la señal, desde el tip de sincronismo hasta el máximo pico de blanco, está normalizada en 1 Volt pico a pico. El nivel de pedestal o negro es la separación entre el pulso de sincronismo y la señal de video. El intervalo de blanking, comprende el pulso de sincronismo horizontal, el pértico anterior y posterior.

Entre dos frentes de pulsos de sincronismo tenemos la duración total de una línea. Esta comprende la parte activa de la misma más el tiempo de retrazado. En NTSC-M, la duración total de la línea (línea activa más el retrazado), es de 63,55 microSeg., mientras que en PAL-B, PAL-N Y SECAM la duración total de la línea es de 64 microSeg.

En la tabla I se muestran los niveles de amplitud de la señal de video de la figura 6.

Tabla I. Niveles de señal de luminancia.

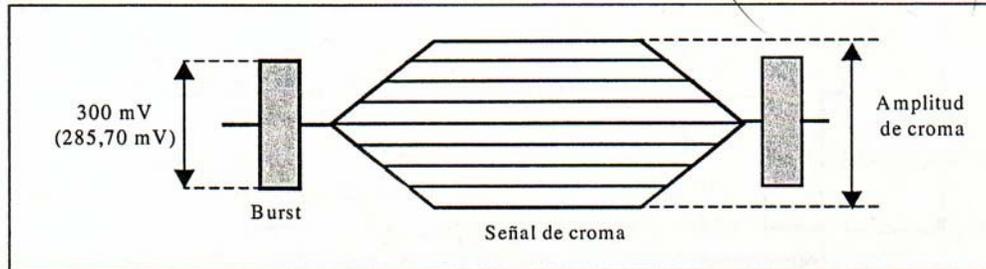
Niveles de Amplitud	NTSC-M/PAL M	PAL B/PAL N/SECAM
Video + sincronismo	140 IRE (1 Vpp)	1 Vpp
Negro	7,5 IRE (0 mV)	0 mV
Blanco de referencia. Máximo nivel	100 IRE (714,28 mV)	700 mV
Tip de sincronismo	-40 IRE (-285,70 mV)	-300 mV

Para NTSC-M y PAL-M los niveles se miden en unidades IRE, donde 140 unidades IRE corresponden a un Volt pico a pico.

El máximo nivel de blanco es de 714,28 mVpp que corresponde a 100 IRE, el negro se ubica en 0 mV que corresponde a 7,5 unidades IRE. La amplitud del pulso de sincronismo es de -285,70 mV o sea -40 unidades IRE.

Para PAL-B los niveles se miden directamente en mV. La amplitud de la serial, desde el tip de sincronismo hasta el máximo pico de blanco, esta normalizada en 1 Vpp. El máximo nivel de blanco corresponde a 700 mVpp y la amplitud del pulso de sincronismo es de -300 mVpp. El negro se ubica en 0 mV. En la figura 7 se representa la señal de croma de una imagen.

Figura 7. Señal de croma.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
La señal de video compuesta, Pág. 8.

En esta señal se ubica una ráfaga de color (burst). Este está compuesto por un tren de 8 a 10 ciclos de la subportadora de color y constituye la fase de referencia para la demodulación en el receptor. En la señal de video compuesta el burst queda ubicado en el póstico posterior, ver figura 8.

Frecuencia de la subportadora de color para NTSC-M es de 3,5795455 MHz. Para PAL-B, la frecuencia de la subportadora de color es de 4,4336187512 MHz.

En cualquiera de los sistemas, la subportadora se transmite con la señal de video compuesta, a fin de que en el receptor se pueda reconstruir la subportadora con la fase y frecuencia adecuada. El burst es utilizado en el receptor, para sincronizar un oscilador de 3,57 MHz o 4,43 MHz, según se trate de NTSC-M o PAL-B.

En NTSC-M, la señal del burst está presente en todas las líneas, menos en las primeras nueve líneas de cada campo. En PAL-B y PAL-N, en la secuencia de 8 campos, el burst está presente en todas las líneas, menos en las siguientes:

Campo 1 y 5. No hay burst en las líneas:	1 a 6 y 310 a 312.
Campo 2 a 6	" 313 a 318 y 622 a 625.
Campo 3 y 7.	" 1 a 5 y 311 a 312.
Campo 4 y 8.	" 313 a 319 y 623 a 625.

En el sistema PAL, la amplitud del burst es de -300 mVpp, siendo este valor igual a la amplitud del pulso de sincronismo. En el sistema NTSC-M y PAL-M, este valor es de -285,70 mVpp (-40 IRE).

Para la conformación de la señal de croma, en el estándar NTSC-M, esta señal esta formada por la combinación de las señales I y Q, mientras que en PAL, esta señal esta conformada por la combinación de las señales U y V.

Para NTSC-M, la señal de croma Cr esta formada por:

$$Cr = \sqrt{I^2 + Q^2}$$

La magnitud de esta señal representa la saturación del color. La fase de croma esta dada por: $\theta = \arctan Q/I$. La señales I y Q, en función de las señales (B-Y) y (R-Y), son expresadas como:

$$I = -0,27 (B-Y) + 0,74 (R-Y)$$

$$Q = 0,41 (B-Y) + 0,48 (R-Y)$$

Las señales I y Q modulan en amplitud una subportadora de color de 3,57 MHz, para producir la señal de video compuesta de color. Para PAL, la señal de croma Cr esta formada por:

$$Cr = \sqrt{U^2 + V^2}$$

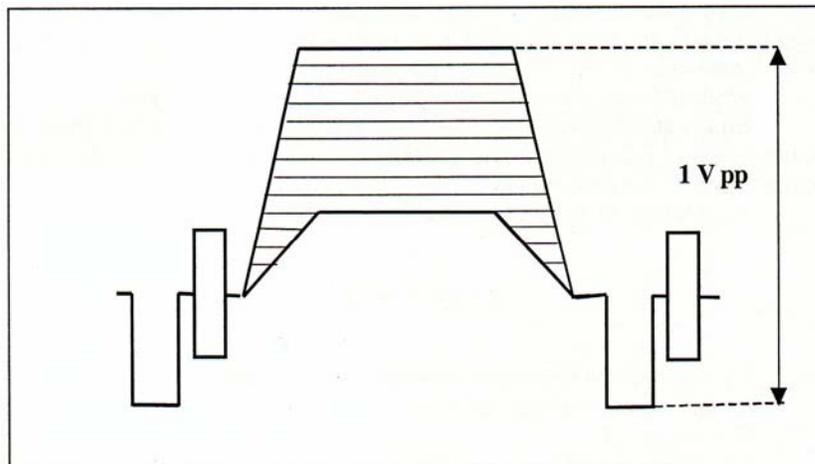
En este caso, la fase de croma esta dada por: $\phi = \arctan V/U$.

Las señales U y V, en función de la señal (B-Y) y (R-Y), se expresan como:

$$U = 0,493 (B-Y) \quad V = 0,877 (R-Y)$$

Estas señales (U y V) modulan en amplitud una subportadora de color de 4,43 MHz, para producir la señal de video compuesta de color. Esta señal, esta representada en la figura 8 y es la combinación de la señal de luminancia y la señal de croma.

Figura 8. Señal de video compuesta de color.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
La señal de video compuesta, Pág. 10.

En la tabla II se muestran los parámetros de barrido y sincronización de la señal de video.

Tabla II. Parámetros de barrido y sincronización de la señal de video.

PARAMETRO	NTSC-M /PAL M	PAL B/PAL N/SECAM
Cuadros / segundo	29,97	25
Campos / segundo	59,94	50
Numero de líneas / cuadro	525	625
Frecuencia horizontal (Hz).	$525 \times 29,97 = 15.734,25$	$625 \times 25 = 15.625$
Duración total de una línea (microSeg)	63,55	64
Duración del pórstico anterior (microSeg)	1,5	1,5
Duración del pórstico posterior (microSeg)	4,5	5,8
Duración del pulso de sincronismo (microSeg)	4,7	4,7
Intervalo de blanking de línea (microSeg)	10,7	12

En NTSC-M y PAL-M, la cantidad de cuadros barridos por segundo es de 29,97. Como se exploran dos campos por cuadro (barrido entrelazado), la cantidad de campos barridos por segundo es de 59,94.

Por simplicidad, cuando nos referimos a la cantidad de cuadros/ segundo, se redondea ese valor en 30. De la misma manera, la cantidad de campos/segundo se redondea en 60.

1.2.1.2 Colorimetría

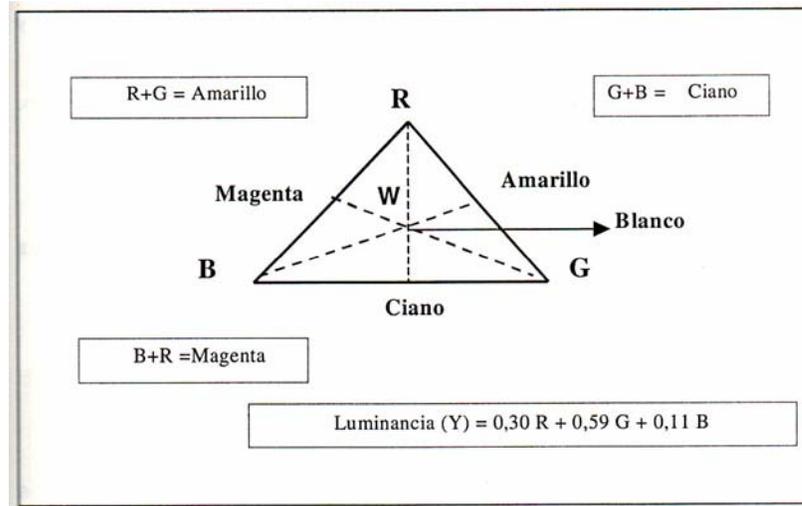
Mediante la colorimetría, podemos analizar la formación de los colores percibidos en forma matemática y grafica. En televisión color los colores se forman por mezcla aditiva. Para ello se parte de tres colores primarios que son: rojo, verde y azul.

Si proyectamos un haz de luz roja y un haz de luz verde en una pantalla, en la intersección de ambos haces tendremos formado un nuevo color, en este caso amarillo. De la misma forma, si proyectamos un haz de luz roja y uno azul, la intersección de ambos nos da un color magenta. A su vez, proyectando un haz de luz azul y uno verde, la intersección de ambos haces en la pantalla, nos da un color ciano.

Los tres nuevos colores así obtenidos, amarillo, ciano y magenta, formados a partir de la proyección de a dos primarios, son denominados colores secundarios o complementarios.

A su vez, si proyectamos ahora en la pantalla tres haces de luz; rojo, verde y azul, la intersección de los tres colores nos da un blanco. El mismo análisis lo podemos efectuar mediante el triángulo de Maxwell, ver figura 9.

Figura 9. Triángulo de Maxwell donde se representan los tres colores primario y los tres colores secundarios o complementarios.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Colorimetría, Pág. 16.

En efecto, en un triángulo equilátero tenemos representado en cada uno de los vértices, los colores primarios rojo, verde y azul (R, G y B). En realidad, el vértice es el punto de máxima concentración de color, pero este se va desaturando a medida que nos alejamos del mismo hacia el centro del triángulo. Si unimos cada uno de los vértices con el centro del lado opuesto, tenemos las tres medianas del triángulo. De esta forma cada lado es dividido en dos por la mediana.

Ese punto medio del lado del triángulo, representa el máximo punto de saturación de un nuevo color, denominado complementario. Por ejemplo, con la mezcla de luz roja y verde obtenemos el amarillo. Entre los vértices RG, tenemos formados los siguientes colores: rojo - naranja - amarillo - amarillo/verde - verde

El centro de la mediana del triángulo corresponde al amarillo. Ambos vértices son el rojo y el verde. Si analizamos las otras dos medianas del triángulo de la figura 9, vemos que; rojo + azul = magenta. En este caso, en la mediana tenemos los colores formados entre el rojo y el azul.

Rojo - magenta rojizo - magenta - magenta azulado - azul

Para la mediana restante tenemos; azul + verde = ciano

Entonces, en la mediana tenemos; azul - ciano - verde

La intersección de las tres medianas nos da el centro del triángulo. Ese punto representa el blanco o sea;

$R+G+B = W$ Rojo + Verde + Azul = Blanco

La señal de luminancia (Y) esta compuesta por R, G y B en las siguientes proporciones;

$$Y = 0,30 R + 0,59 G + 0,11 B$$

1.2.1.3 Señal por componentes analógicos YPbPr

La señal por componentes analógicos (YPbPr), esta formada por la señal de luminancia (Y) y las señales diferencia de color Pb y Pr. Las relaciones entre estas señales y las de diferencia de color (B-Y) y (R-Y) son:

$$Pr = 0,71327 (R-Y)$$

$$Pb = 0,56433 (B-Y)$$

En la tabla III se muestran los valores de amplitud para la señal por componentes analógicos YPbPr, para 625/50 y 525/60.

Tabla III. Valores de amplitud para la señal por componentes analógicos

Parámetro	625/50	Betacam - 525/60
Señal diferencia de color (Pb)	+/- 350 mVpp	+/- 467 mVpp
Señal diferencia de color (Pr)	+/- 350 mVpp	+/- 467 mVpp
Rango de cada señal (Pb y Pr)	700 mVpp	934 mVpp
Nivel de negro	0 mVpp	53,57 mVpp (7,5 IRE)
Luminancia (Y)	700 mV ~	714 mV .(100 IRE)
Sincronismo (s)	300 mVpp	-286 mVpp (-40 IRE)
Luminancia mas sincronismo (Ys)	1000 mVpp	1000 mVpp

En 525/60, los equipos Betacam de Sony han establecido un estándar en la industria. La señal por componentes analógicos emplea dos tipos de conectores.

- a) Tres conectores BNC separados para Ys, Pb y Pr.
- b) Conector tipo Betacam de 12 pines.

En la tabla IV se muestran los niveles en componentes analógicos (YPrPb), para una señal de barras con una codificación 100/0/100/0.

Tabla IV. Niveles de componentes analógicos.

Barra de color	Y(mV)	Pr (mV)	Pb (mV)
Blanca	700	0	0
Amarilla	620,20	56,92	-350,00
Ciano	490,70	-350,00	118,15
Verde	410,90	-293,08	-231,88
Magenta	289,10	293,08	231,88
Roja	209,30	350,00	-118,11
Azul	79,80	-56,92	350,00
Negro	0	0	0

1.2.1.4 Señal por componentes analógicos Y/C.

La señal por componentes analógicos (Y/C) esta compuesta por la señal de luminancia y la señal de croma. La señal de luminancia es una señal del tipo Ys donde;

$$Ys = \text{Luminancia (Y)} + \text{Sincronismo (s)}$$

En 625/50, la señal de luminancia (Y) tiene una amplitud de 700 mVpp y el pulso de sincronismo, tiene una amplitud de - 300 mVpp. Esto significa que la señal de luminancia (Ys) tiene una amplitud pico a pico de 1 Volt.

La señal de croma tiene exactamente la misma amplitud y fase que la señal de croma del video compuesto. La señal de luminancia y la señal de croma que forman la señal por componentes analógicos Y/C, son medidas sobre una impedancia de 75 Ohms.

Se utilizan dos cables coaxiales para el transporte de esta señal. Uno para la señal de luminancia con sincronismo (Ys) y otro para la señal de croma (C). Existen diversos tipos de conectores utilizados para estas señales:

- a) Conector DIN mini de cuatro pines.
- b) Conector de siete pines.
- c) Dos conectores BNC. Uno para la señal (Ys) y otro para (C).

Esta señal es utilizada en aplicaciones semiprofesionales y se la denomina S-VHS.

1.2.2 Señal digital

En el año 1982, el CCIR (Comite Consultatif International des Radiocommunications), estableció la Recomendación CCIR-601 para la digitalización de las señales de video en el Estudio. Posteriormente, el CCIR se convirtió en el IUT-R (International Union for Telecommunications) y esta Recomendación paso a llamarse ITU-R.BT.601.

Esta norma, establece los parámetros para la digitalización de la señal de video, a partir de las señales por componentes analógicos (YPrPb), para los estándares 525/60 y 625/50 en los formatos 4:3 y 16:9.

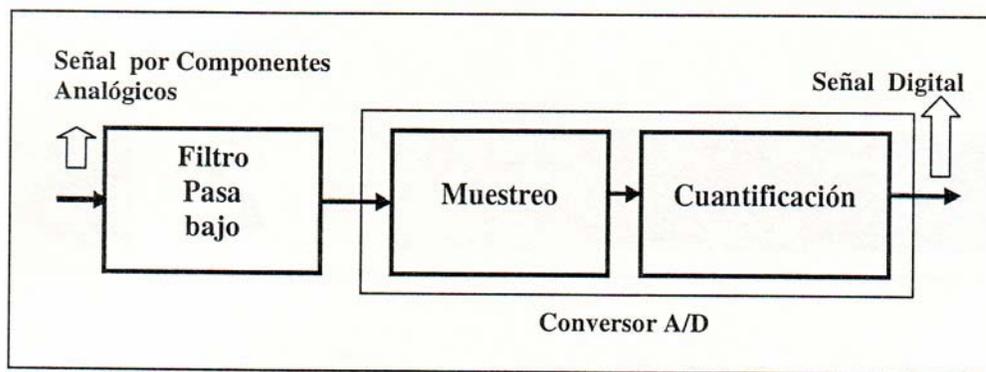
1.2.2.1 Conversión analógica a digital (A/D).

El proceso de digitalización de una señal consta básicamente de dos pasos:

- a) Muestreo de la señal analógica.
- b) Cuantificación de los valores muestreados.

Estos dos procesos se efectúan en el Conversor Analógico / Digital (A/D), ver figura 10,

Figura 10. Conversor A/D.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Digitalización de señal de video, Pág. 28.

La señal de entrada es limitada en banda por un Filtro Pasa Bajo. Este filtro también denominado anti aliasing, evita que se mezclen frecuencias de la señal de entrada con frecuencias de la banda de muestreo. De esta forma, evitamos que se formen efectos indeseables sobre la imagen.

El filtro limita la banda cuando las frecuencias de la señal a muestrear, superan la mitad de la banda de la frecuencia de muestreo. Supongamos a manera de ejemplo que

la frecuencia de muestreo es de 12 MHz. En este caso, el filtro cortaría las frecuencias por encima de 6 MHz. Actualmente, este filtro es incorporado dentro del Conversor A/D por algunos fabricantes.

Lo que se trata de evitar es el efecto aliasing y cumplir con el Teorema de muestreo de Nyquist.

Este Teorema expresa que para poder conservar prácticamente toda la información de una señal, la frecuencia de muestreo debe ser como mínimo el doble del ancho de banda de la señal a muestrear.

De acuerdo a este teorema, si la señal a muestrear es una señal de luminancia de 5,5 MHz de ancho de banda, para que no se produzca aliasing, la frecuencia de muestreo en este caso, debería tener como mínima 11 MHz.

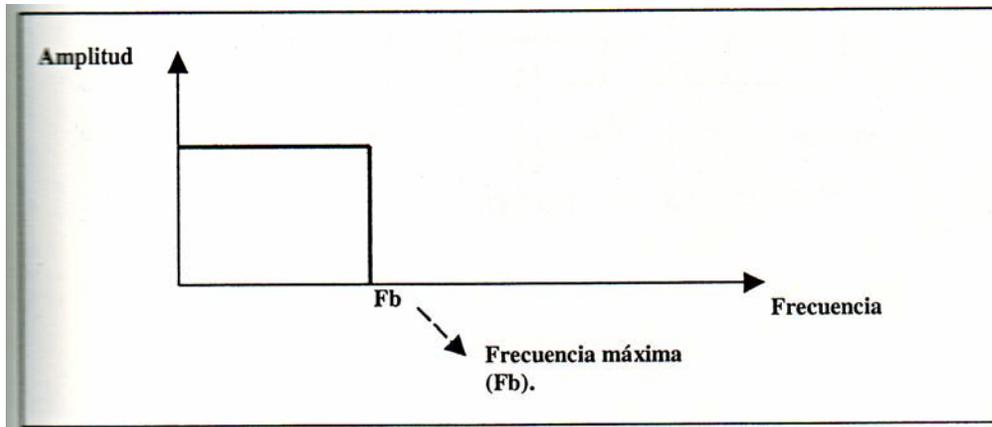
1.2.2.2 Muestreo de la señal analógica.

El proceso de muestreo consiste en tomar muestras de píxeles de la señal analógica. Estas se toman a una frecuencia determinada, llamada frecuencia de muestreo.

La señal a muestrear es modulada por un tren de pulsos de corta duración a intervalos regulares T . Idealmente, la señal de muestreo es un Delta de Dirac repetido a intervalos T . La frecuencia de muestreo viene dada por: $f_m = 1/T$; donde T son los periodos o intervalos de muestra.

En la figura 11 se representa el espectro ideal de una señal analógica. Como primer paso hacia la digitalización, esta es la señal que se va a muestrear.

Figura 11. Espectro en banda base de la señal a muestrear



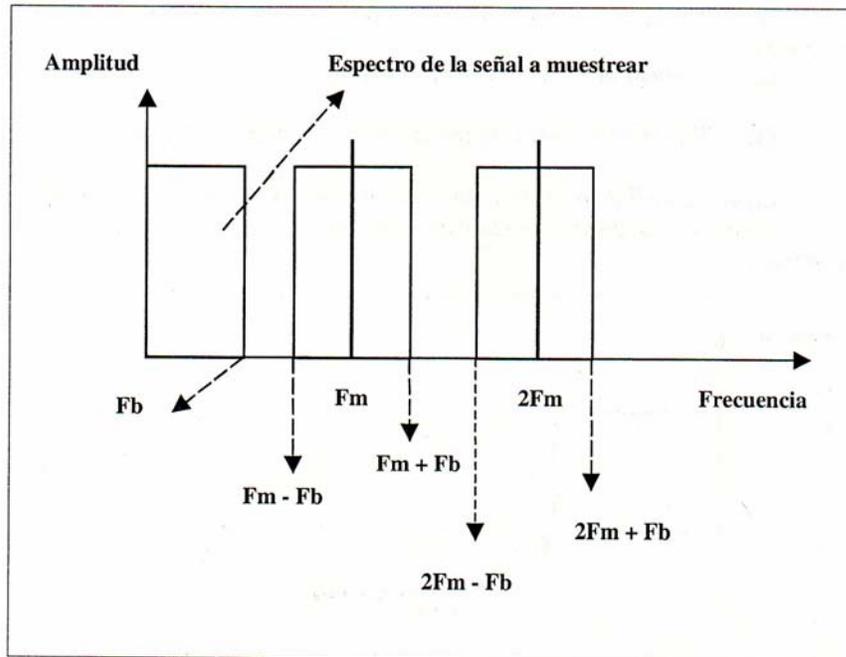
Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Digitalización de señal de video, Pág. 29.

El ancho de banda de esta señal tiene una frecuencia máxima F_b . La pendiente de caída abrupta de la figura es para un filtro anti aliasing de espectro ideal.

Esta señal será muestreada por un tren de pulsos angostos, representados en la figura 12. En esta se representa la frecuencia de muestreo fundamental F_m y la del doble de la fundamental $2F_m$. Para cada pulso de muestreo, fundamental y sus armónicos, se generan dos bandas laterales. Para la fundamental, la banda lateral inferior es $F_m - F_b$ y la banda lateral superior es $F_m + F_b$. Para $2F_m$ las bandas laterales son $2F_m - F_b$ y $2F_m + F_b$ y así sucesivamente.

Para que no se mezclen las frecuencias del espectro de entrada, con el espectro de la banda lateral inferior de la frecuencia de muestreo, es necesario que se cumpla la siguiente condición $F_m \geq 2F_b$.

Figura 12. Espectro de los pulsos de muestreo.



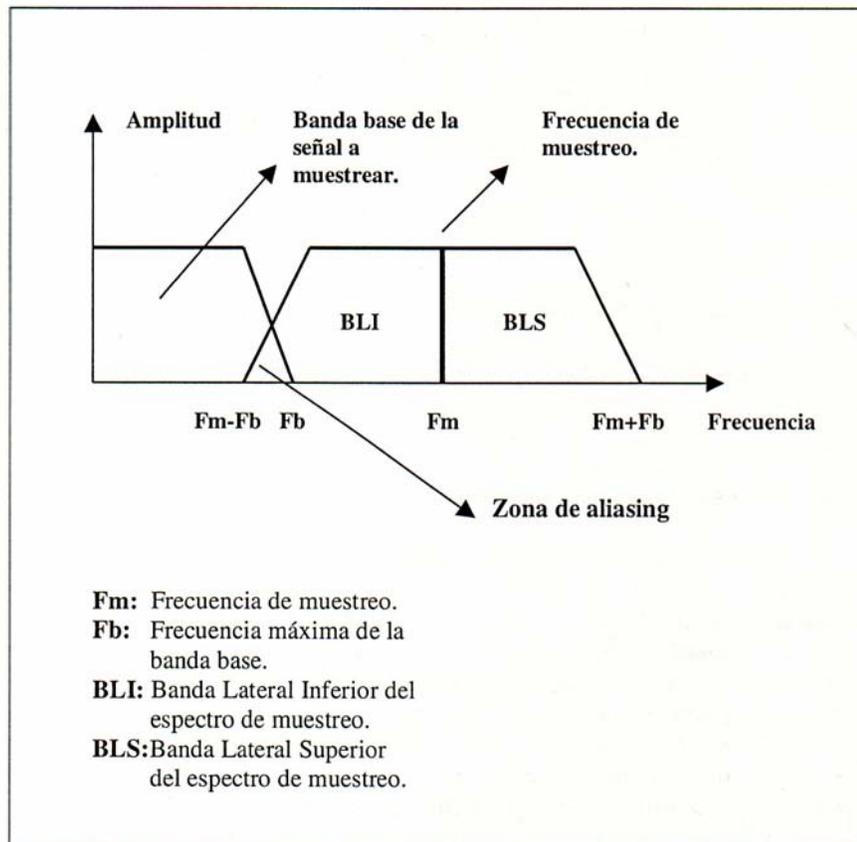
Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Digitalización de la señal de video, Pág. 30.

Las señales utilizadas para ser muestreadas, son las denominadas de componentes analógicos (YPrPb), de la Recomendación ITU-R.BT.601.

La frecuencia de muestreo, a la cual se deben tomar las muestras de cada una de las componentes, tiene que cumplir dos condiciones básicas a saber; la primera de ellas es que debe ser múltiplo entero de la frecuencia de línea y la segunda es que debe cumplir con el teorema de muestreo de Nyquist. Este teorema establece que la frecuencia de muestreo, debe ser por lo menos el doble del ancho de banda de la señal a muestrear. Si no se cumple esta premisa, se produce aliasing con los consecuentes efectos indeseables sobre la imagen.

En la figura 13 se representa el espectro de la señal a muestrear y el espectro de la frecuencia de muestreo.

Figura 13. Aliasing causado por una baja frecuencia de muestreo.



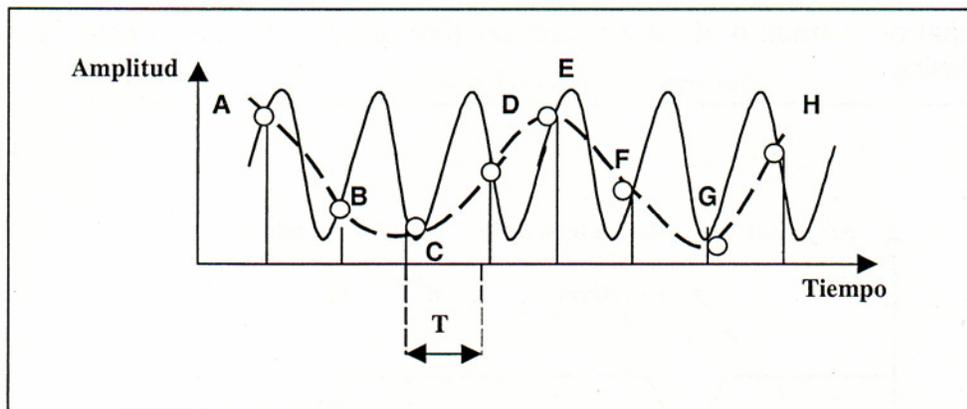
Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Digitalización de la señal de video, Pág. 31.

En este ejemplo, debido a una baja frecuencia de muestreo o a un filtrado inapropiado en la señal a muestrear, se produce aliasing.

En esta Figura, observamos como la banda lateral inferior del espectro de muestreo ($F_m - F_b$), se superpone con la banda lateral superior de la señal de entrada o señal a muestrear (F_b), produciéndose en este caso aliasing.

En la figura 14 vemos como una baja frecuencia de muestreo también produce aliasing, debido a que los puntos de muestra tomados en la serial son insuficientes. Estos puntos son A, B, C, D, E, F, G y H. Uniendo estos obtenemos la línea de puntos de la señal mostrada en la figura. Esta nueva forma de onda envolvente (curva punteada), dista lejos de la original y esto nos indica que hemos tomado una baja frecuencia de muestreo.

Figura 14. Señal muestreada con una baja frecuencia de muestreo



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Digitalización de la señal de video, Pág. 32.

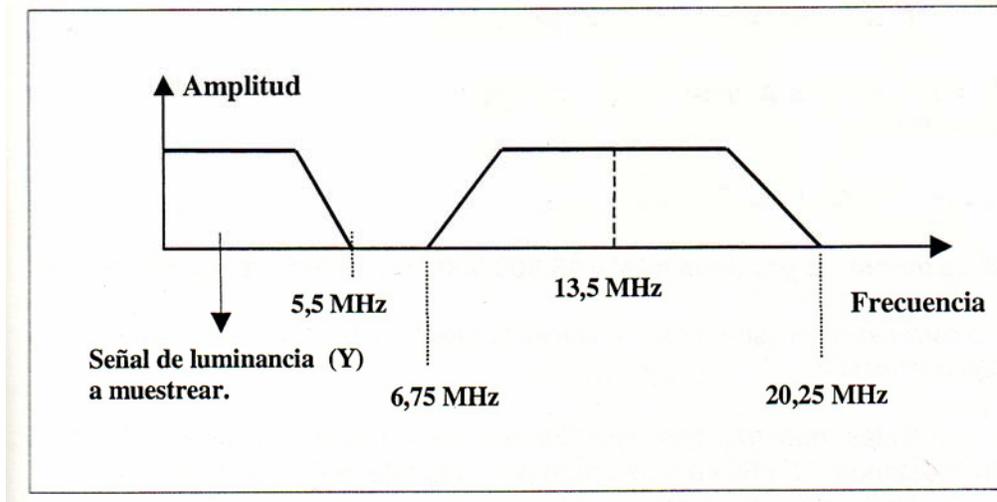
El periodo T corresponde a la inversa de la frecuencia o sea: $T=1/F_m$, donde: F_m es la frecuencia de muestreo. De las señales por Componentes Analógicos (YPbPr) a muestrear, tomemos el caso de la señal de luminancia (Y). Esta serial tiene un ancho de banda típico de 5,5 MHz.

De acuerdo al teorema de Nyquist, la frecuencia de muestreo debe ser por lo menos el doble del ancho de banda de la señal a muestrear. Para componentes analógicos, la frecuencia de muestreo de la señal de luminancia es de 13,5 MHz. Esta frecuencia

cumple con el teorema de Nyquist y además es múltiplo entero de la frecuencia de línea. Los estándares 525/60 y 625/50 utilizan la misma frecuencia de muestreo de luminancia.

La figura 15 muestra el espectro para una frecuencia de muestreo de luminancia de 13,5 MHz. En este caso no se produce aliasing. Esto es debido a que la banda lateral superior de la señal a muestrear no se superpone con la banda lateral inferior de la frecuencia de muestreo. Nótese el espaciamiento entre la pendiente de la señal a muestrear de 5,5 MHz y el tope de la banda lateral inferior del espectro de muestreo, que esta ubicado en 6,75 MHz.

Figura 15. Espectro de la frecuencia de muestreo.

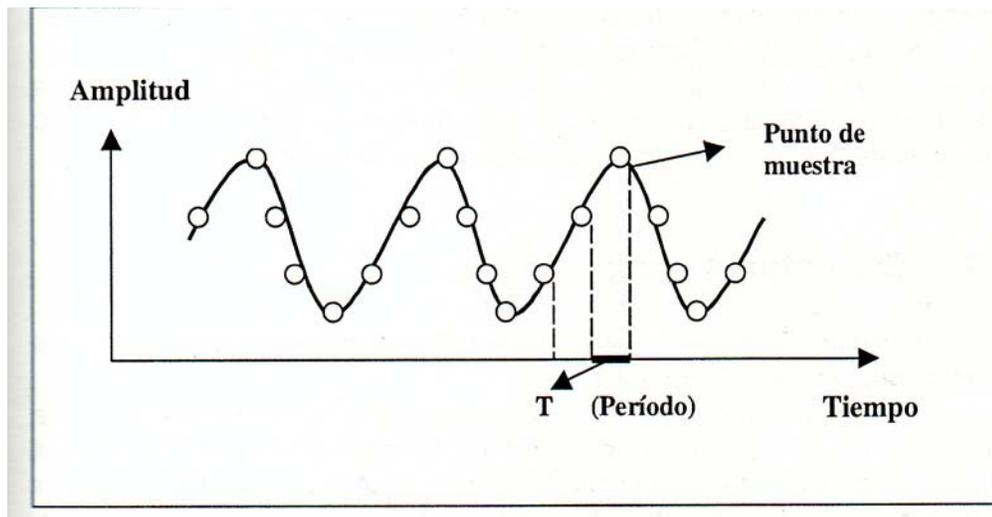


Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Digitalización de la señal de video, Pág. 33.

A manera de ejemplo, si la señal de luminancia (Y) a muestrear tuviera 8 MHz de ancho de banda, el filtro anti-aliasing antes del muestreo, debería limitar la banda de la señal de entrada en 5,5 o 6 MHz como máximo.

La figura 16 representa una señal con una frecuencia de muestreo correcta. En este ejemplo, la envolvente de las muestras se mantiene igual a la forma de onda de la señal original. Este dibujo es meramente ilustrativo y representa una serie de muestras para su mejor interpretación.

Figura 16. Señal muestreada con una frecuencia de muestreo correcta.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Digitalización de la señal de video, Pág. 32.

La señal analógica es muestreada a intervalos regulares T . El número de muestras por línea completa o total* viene dado por:

N° de muestras p/línea total = Frecuencia de muestreo / Frecuencia horizontal.

Para el estándar 625/50 será;

N° de muestras por línea total = $13.500.000 \text{ s.f.} / 15.625 \text{ s.f.} = 864 \text{ muestras}$

Estas muestras corresponden a la parte activa e inactiva de la línea. En el estándar 525/60 se muestrean por línea total 858 muestras. Para ambos estándares se muestrean en luminancia 720 píxeles por línea activa.

Las señales Cr y Cb son muestreadas a otras frecuencias, dependiendo de la estructura de muestreo utilizada. De la estructura empleada y la cantidad de bits por muestra de resolución, dependerá la calidad de la señal digital obtenida, en términos de relación Señal a Ruido (S/N).

Mas adelante, veremos que si la estructura de muestreo es 4:2:2, las señales Cr y Cb se muestrean a la mitad de la frecuencia de luminancia o sea a 6,75 MHz cada una. En este caso, se muestrean por línea activa 360 muestras de cada una de las señales diferencia de color.

1.2.2.3 Cuantificación de los valores muestreados

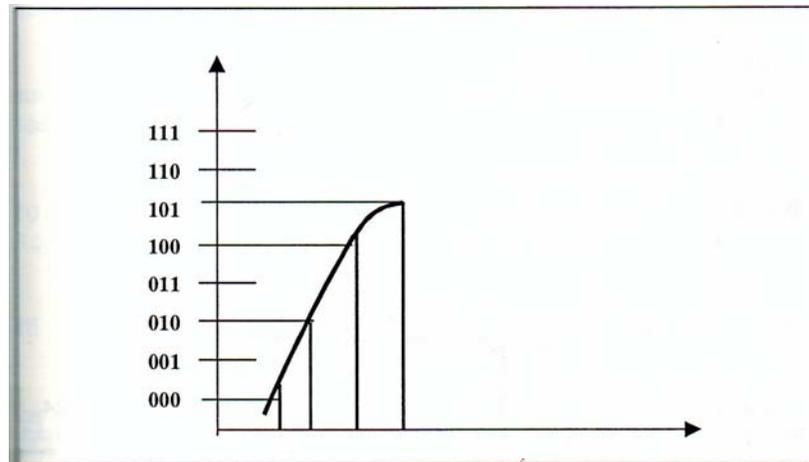
Una vez que las señales de luminancia y diferencia de color (Y, Cr, Cb) son muestreadas, para completar el proceso de digitalización de la señal, se procede a efectuar la cuantificación.

El proceso de cuantificación, consiste en asignar valores binarios de una determinada cantidad de bits (palabra de bits), a cada uno de los valores de tensión en amplitud muestreados.

La cuantificación convierte la muestra analógica a un número binario. Supongamos, que queremos cuantificar una señal que ha sido muestreada a 3 bits por muestra de resolución. Para 3 bits tendremos $2^3 = 8$ o sea que existen en este caso 8 niveles de cuantificación.

Cada uno de los niveles tendrá una palabra de 3 bits, correspondiendo el primer nivel al estado "000" y el octavo nivel al estado "111". En la Figura 2.19, se representa la cuantificación de una señal a 3 bits por muestra de resolución.

Figura 17. Cuantificación a 3 bits por muestra.



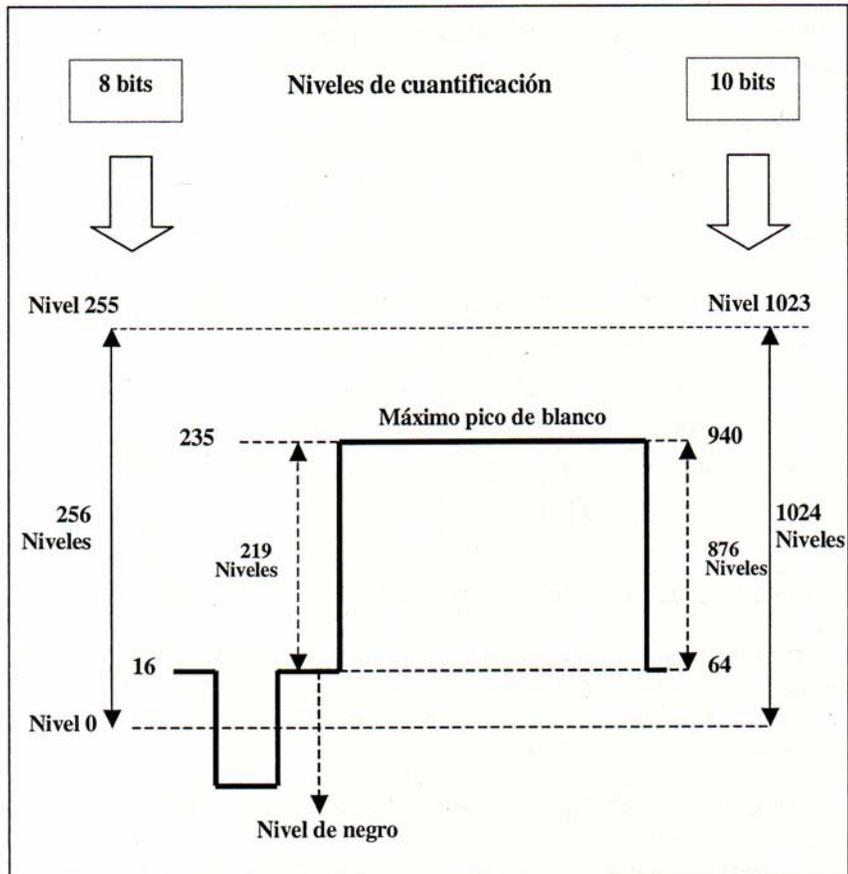
Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Digitalización de la señal de video, Pág. 51.

Aquí podemos observar que; para la primer muestra le corresponde el primer nivel que es "000". A la segunda muestra le corresponde el nivel "010". A la tercer muestra le corresponde el nivel "100" y a la cuarta muestra le corresponde el nivel "101".

La Recomendación ITU-R. BT.601 establece los parámetros para una cuantificación de 8 y 10 bits por muestra. Actualmente es común cuantificar a 10 bits por muestra. Para 8 bits se establecen $2^8 = 256$ niveles de cuantificación numerados de 0 a 255. De estos 256 niveles de cuantificación el primer nivel es 0000 0000 y el ultimo nivel es 1111 1111.

Para 10 bits le corresponden $2^{10} = 1.024$ niveles numerados de 0 a 1.023. En este caso el primer nivel es 00 0000 0000 y el ultimo nivel es 11 1111 1111. Evidentemente cuanto mayor es la cantidad de bits por muestra, mas son los pasos de cuantificación y por ende mayor es la resolución o definición de la imagen y una mejor relación Señal a Ruido (S/N). En la figura 18 se representan los niveles de cuantificación para 8 y 10 bits por muestra, para la serial de luminancia.

Figura 18. Niveles de cuantificación para la señal de luminancia para 8 y 10 bits por muestra.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Digitalización de la señal de video, Pág. 53.

En la parte izquierda de la figura se representan los distintos niveles, para una cuantificación de 8 bits por muestra. En total tenemos 256 niveles o pasos de cuantificación, contados desde el nivel 0 al 255. Aquí vemos que el sincronismo prácticamente no se muestrea.

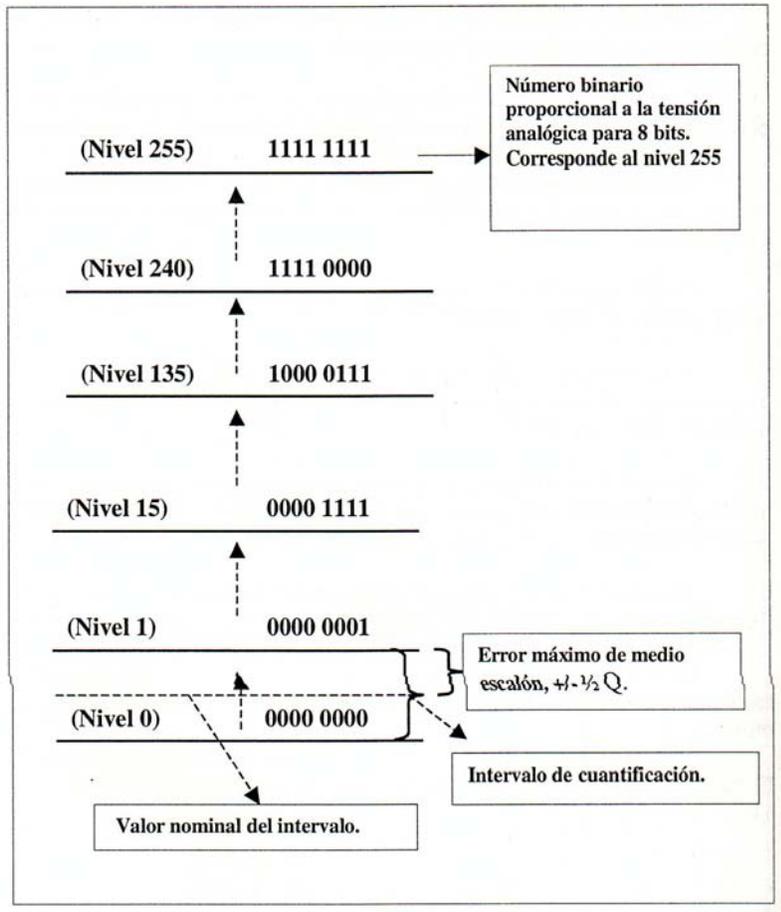
El negro arranca en el nivel 16 y el máximo pico de blanco corresponde al nivel 235. Entre el negro y el máximo pico de blanco tenemos 219 niveles de cuantificación.

Desde el nivel 0 al 16 no hay muestreo de la señal. Lo mismo ocurre desde el nivel 235 hasta el 255. A la derecha de la figura, tenemos para la misma señal, una cuantificación de 10 bits por muestra. En este caso, existen 1024 niveles o pasos de cuantificación.

El nivel 0 en 10 bits coincide con el nivel 0 en 8 bits. Sin embargo para 10 bits el negro está en el nivel 64 y el máximo pico de blanco en el nivel 940. Aquí tenemos 876 niveles o pasos de cuantificación. Si se cuantifica a 8 bits, el nivel de tensión analógica del negro es de 16 y si se cuantifica a 10 bits ese mismo nivel de tensión analógica es de 64.

En la figura 19 se representan algunos niveles de cuantificación y los valores asignados para una resolución de cuantificación de 8 bits por muestra. El primer nivel (0) tiene asignado un código de palabra de 0000 0000. El máximo nivel 255 corresponde al código de palabra en binario de 1111 1111.

Figura 19. Niveles de cuantificación y valores binarios asignados para 8 bits.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Digitalización de la señal de video, Pág. 54.

En la figura 20 se representan los niveles de cuantificación normalizados para 8 bits, para las señales diferencia de color Cb y Cr. Estos valores son:

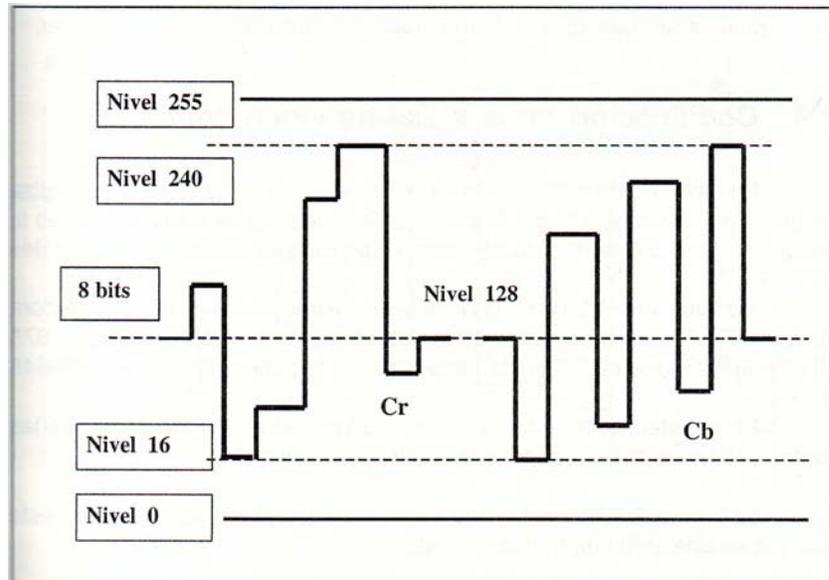
Nivel medio de la señal: 128

Nivel mínimo: 16

Nivel máximo: 240

Hay una zona de seguridad, por cualquier excursión que pudiera tener la serial, entre los niveles 0 a 16 y 240 a 255.

Figura 20. Niveles de cuantificación para 8 bits para las señales Cb y Cr.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Digitalización de la señal de video, Pág. 55.

1.2.2.4 Relación señal a ruido (S/N) de la señal digital.

Existe una relación directa entre la relación Señal a Ruido (S/N) de la señal y los niveles de cuantificación. En efecto, una señal cuantificada a 8 bits por muestra tiene una relación S/N de 58,3 dB. Por cada bit que se aumenta la resolución de cuantificación, la relación Señal a Ruido se incrementa en 6 dB. Es así que una serial de 9 bits tiene 6 dB mas de S/N que una señal de 8 bits o sea 64,3 dB y una señal de 10 bits tiene 6 dB mas de S/N que una señal de 9 bits o sea 70,3 dB y así sucesivamente.

Es importante destacar que estas relaciones de S/N se logran y se sobrepasan también con señales analógicas. Esto nos indica que la señal digital en primera instancia, no tiene mejor relación S/N que la señal analógica.

La señal digital distribuida correctamente es una señal que no tiene ruido. Además, tiene la ventaja con respecto a la señal analógica, que no sufre degradaciones en sucesivas ediciones. Otra de las ventajas de la tecnología digital es que permite procesar y manipular imágenes, que en forma analógica sería imposible de realizar.

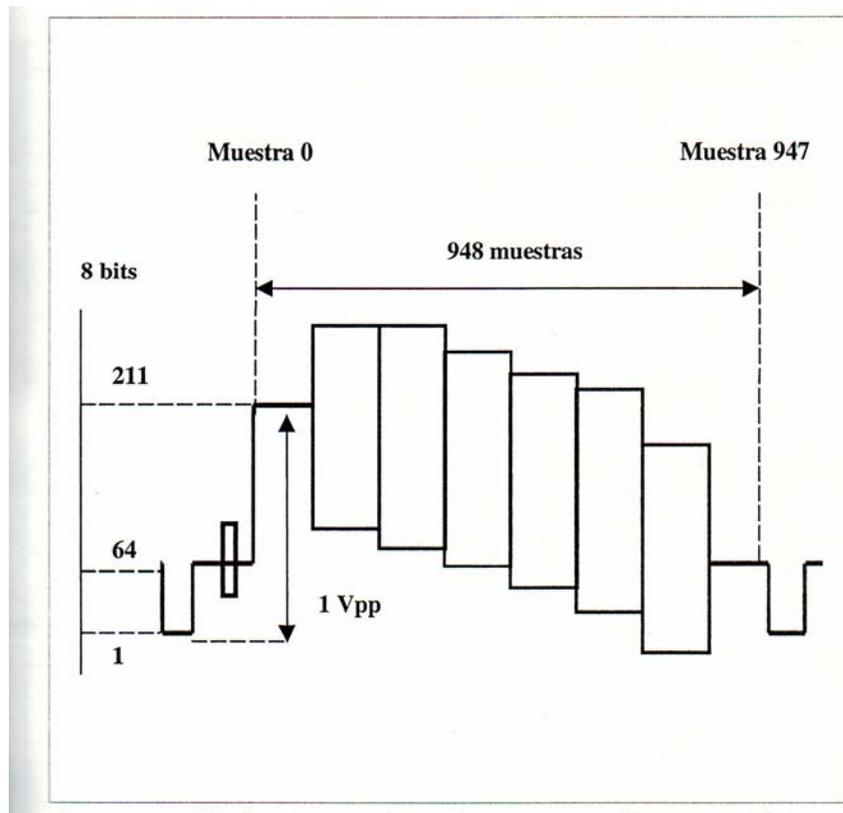
1.2.2.5 Codificación de la señal de video compuesta.

En este tipo de codificación la señal de video compuesto se digitaliza en un solo conversor A/D. La frecuencia de muestreo se toma a 4 veces la frecuencia de la subportadora de color (4 fsp). Esto es válido para las señales NTSC o PAL.

Lo que varía entre ambos sistemas es la frecuencia de la subportadora de color. En PAL, la frecuencia de la subportadora de color es 4,43361875 MHz, mientras que en NTSC la frecuencia de la subportadora es 3,579545 MHz. En el sistema PAL se muestrean 1135 muestras por línea total, de las cuales 948 muestras corresponden a la línea digital activa.

La figura 21 muestra una señal de video compuesto, que en este ejemplo es una señal de barras en PAL.

Figura 21. Niveles de cuantificación para una señal PAL Digital Compuesta.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Digitalización de la señal de video, Pág. 57.

Para 8 bits el sincronismo (-300 mV) comienza en el nivel 1 de cuantificación. El negro (0 mV) corresponde al nivel 64. El máximo pico de blanco (700 mV) corresponde al nivel 211.

Debido a que la frecuencia de muestreo es de 4fsp (4 x frecuencia de la subportadora de color), tendremos;

Frecuencia de muestreo para PAL = $4 \times 4,43361875 = 17,73447$ MHz. Frecuencia de muestreo para NTSC = $4 \times 3,579545 = 14,31818$ MHz.

Las velocidades binarias para Digital Compuesto en los sistemas PAL y NTSC serán:

Velocidad binaria en PAL Digital Compuesto = $17,73447 \text{ MHz} \times 10 \text{ bits/ muestra} = 177,344 \text{ Mbit/Seg.}$

Velocidad binaria en NTSC Digital Compuesto = $14,31818 \text{ MHz} \times 10 \text{ bits/ muestra} = 143,181 \text{ Mbit/Seg.}$

En la tabla V, se representan los parámetros principales para la codificación de la señal de video compuesta en los estándares NTSC y PAL.

Tabla V. Parámetros principales de la codificación de la señal de video compuesta.

Parámetro	NTSC	PAL M	PAL
Señal codificada	Video compuesto (CCVS).		
Estructura de muestreo	Ortogonal, línea, campo y cuadro repetitivo		No ortogonal. Cuadro repetitivo. Dos píxeles extras por campo.
Frecuencia de muestreo	4 fsp=14,31818 MHz	4 fsp=14,30244 MHz	4 fsp=17,73447 MHz
Nº mLines tras/línea activa.	910	909	1135+4/625
Sistema numerado de muestras. Muestras adyacentes al punto mitad del borde del sine. Punto (Oh). Línea 1 Campo 1.	784 y 783	784 y 785	957 y 958
Muestras lin.dig. activa	0...767	0...767	0...947
Fases de muestreo de la subportadora.	57°, 147°, 237°, 327°	45°, 135°, 225°, 315°	
Numero de bits/muestra	8,(9)6 10		
Código de palabra utilizado en 8 bits.	Niveles 1 a 254 están disponibles para video. Niveles 0 y 255 son reservados para la sincronización.		
Escala de cuantificación. Nivel de blanco.	200		211
Nivel de blanking.	60		64
Nivel de sincronismo.	4		1

Continúa

Blanking (campo)	Línea de TV	Línea de TV
Digital vertical.	1	624
Campo 1. Finaliza	10	5
Campo 2. Arranca	264	311
Campo 2. Finaliza	273	317
Datos entre los interv. de blanking vertical.	Consiste en una representación digital de una señal analógica.	
SC a horizontal. Fase de tiempo de sine (SCH).	0 Grados	

La estructura de muestreo a 4 fsp es distinta en NTSC que en PAL. En NTSC, la frecuencia de muestreo es un número entero de la frecuencia de línea.

En este caso la estructura de muestreo es ortogonal. O sea las muestras se encuentran en la misma posición en todas las líneas. Esto se repite en todos los campos y cuadros.

En PAL, la frecuencia de muestreo no es un número entero de la frecuencia horizontal. En este caso la estructura no es ortogonal. Esto significa que las muestras están desplazadas en cada línea.

Además hay dos píxeles extras por campo o sea cuatro píxeles más por cuadro. En una línea total o completa (parte digital activa + periodo de retrazado), habrá 4/625 píxeles mas.

1.2.2.6 Interfaces utilizadas

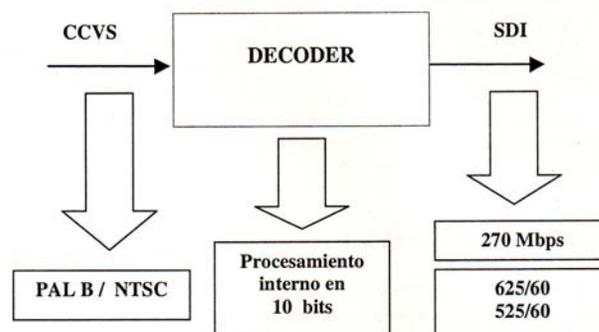
A fin de compatibilizar la interconexión de equipos analógicos y digitales, se utilizan hoy día una amplia variedad de interfaces.

Con la tecnología actual, estos equipos son transparentes y de excelente performance.

1.2.2.7 Decoder

Este dispositivo convierte una señal de video compuesta (CCVS) a una señal SDI. En la figura 22 se muestra un Decoder típico.

Figura 22. Esquema de un Decoder típico.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Digitalización de la señal de video, Pág. 60.

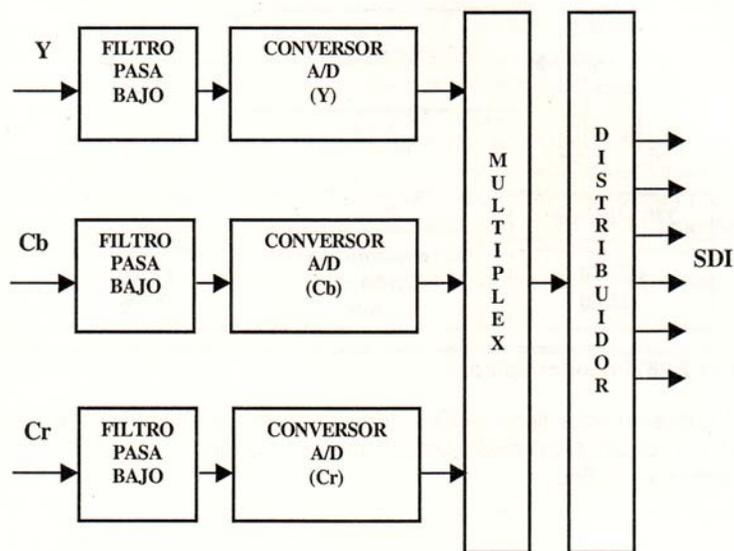
En este equipo, la señal interna es procesada a 10 bits. También existen Decoders que procesan internamente la señal en 8 y 12 bits. Pero la salida esta siempre normalizada en 10 bits, que corresponde a una señal SDI de 270 Mbps, que es el estándar de Televisión Digital en el Estudio.

El Decoder representado en este ejemplo es binorma. Esto significa que cuando a la entrada tenemos una señal PAL B, la salida es SDI en el estándar 625/50. Si se cambia la norma de entrada a NTSC, la salida SDI en este caso corresponde al estándar 525/60.

Otro tipo de Decoder, es aquel que ingresamos en su entrada con seriales por componentes analógicos (YCbCr) y a la salida tenemos una señal SDI.

En la figura 23, se ilustra el proceso interno de un Decoder por Componentes Analógicos a SDI, con un distribuidor a la salida.

Figura 23. Decoder por componentes analógicos a SDI-4:2:2.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Digitalización de la señal de video, Pág. 61.

Las señales (YCbCr) por componentes analógicos ingresan a cada uno de los Filtros Pasa Bajos.

El camino de luminancia esta compuesto por un Filtro Pasa Bajos de 5,75 MHz y un Conversor A/D de luminancia. A la salida de este tenemos un tren de datos de 13,5 Mega muestras/Seg.

La señal Cb (diferencia al azul), pasa por un Filtro Pasa Bajo de 2,75 MHz y la salida de este filtro es conectada a un Conversor A/D. A la salida de este tenemos un tren de datos de 6,75 Mega muestras/Seg.

Por último, la señal Cr es conectada a la entrada de un Filtro Pasa Bajo de 2,75 MHz, y luego ingresa a un Conversor A/D. A la salida de este también tenemos un tren de datos de 6,75 Mega muestras/Seg.

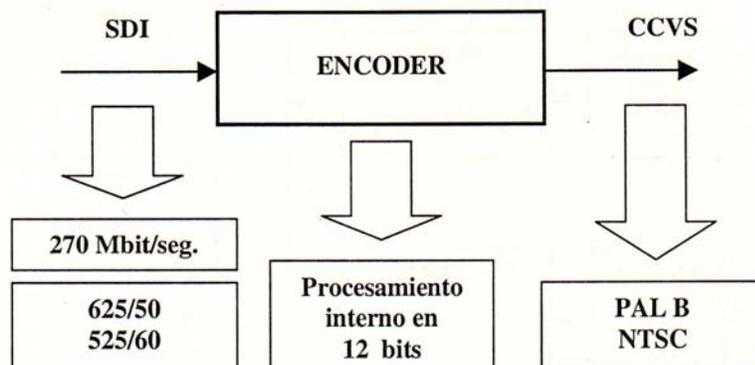
Las tres señales obtenidas son multiplexadas a 27 Mega muestras/ Seg. A la salida del Múltiplex se obtiene la señal SDI. Esta serial es conectada a la entrada de un Distribuidor SDI que tiene seis salidas.

1.2.2.8 Encoder

El Encoder es un dispositivo que convierte una señal SDI a una señal de video compuesta (CCVS). También, para este caso hay Encoders que procesan internamente la serial en 8, 10 y 12 bits.

En la figura 24 se representa un Encoder típico. En este caso, el procesamiento interno de la serial es de 12 bits. La serial a la entrada es SDI en 625/50 o 525/60 y a la salida tenemos la señal de video compuesta que puede ser PAL B o NTSC.

Figura 24. Encoder típico.



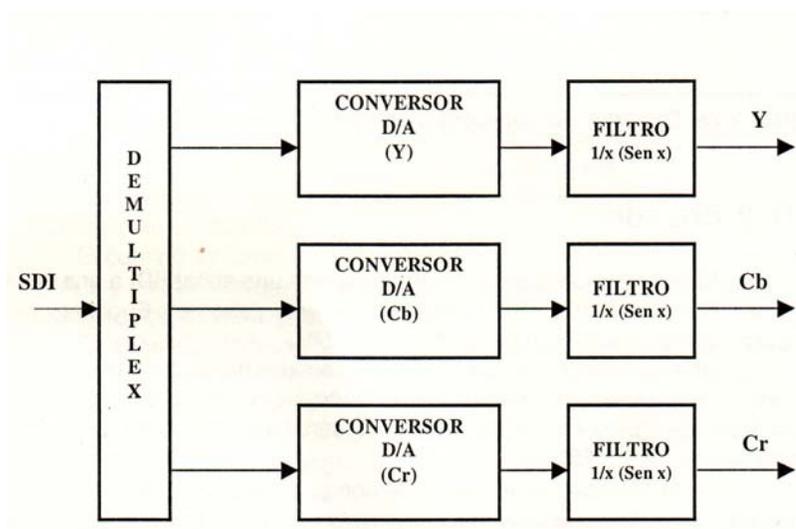
Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Digitalización de la señal de video, Pág. 62.

Cuando ingresamos a la entrada con una señal SDI en 625/50, a la salida tenemos una señal de video compuesta en PAL B. En cambio, cuando ingresamos a su entrada con una señal SDI en 525/60, a la salida tenemos una señal de video compuesta en NTSC.

1.3 Ventajas de la televisión digital frente a la televisión analógica

En la figura 25, se pueden observar las principales ventajas de la Televisión Digital frente a la Televisión Analógica.

Figura 25. Encoder SDI a componentes analógicos.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Digitalización de la señal de video, Pág. 62.

Para ello, se consideran los tres estándares de Televisión Digital Terrestre que existen en la actualidad.

ATSC (Advanced Television Systems Committee). E.E.U.U.

DVB - T (Digital Video Broadcast-Terrestrial). Europa.

ISDB-T (Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting). Japón.

La señal de vídeo digital es una señal que no tiene ruido. Si esta señal ha sido comprimida adecuadamente su calidad es muy buena.

El sonido que presenta la Televisión Digital es de mejor calidad y mayor realidad de presencia, que el de la Televisión Analógica.

Como se había mencionado, en el mismo ancho de banda que ocupa un canal analógico de 6 MHz, se pueden transportar en DTT (Digital Terrestrial Television), varios programas comprimidos de SDTV o un programa de HDTV.

En el estándar ATSC y para un espectro de 6 MHz, el transporte de estos programas se realiza a 19,3 Mbps.

En el estándar DVB-T, se pueden transportar varios programas de SDTV ó uno de HDTV, en un canal de 6 MHz de ancho de banda a 19,76 Mbps. Más adelante, se verá que esta velocidad, depende de distintos parámetros a aplicar en la modulación.

Figura 26. Ventajas de la Televisión Digital en transmisión.

- **Mejor calidad de imagen y sonido.**
ATSC - DVB-T - ISDB-T
- **Múltiples programas de SDTV en el mismo ancho de banda que ocupa un canal análogo actual.**
ATSC - DVB-T - ISDB-T
- **HDTV. Televisión de Alta Definición, en el mismo ancho de banda que ocupa un canal análogo actual.**
ATSC - DVB-T - ISDB-T
- **Datos broadcasting. Plataformas multimedia. Interactividad.**
ATSC - DVB-T- ISDB-T
- **Recepción portable y móvil.**
DVB-T – ISDBT
- **Redes de Frecuencia Unica. SFN.**
DVB-T - ISDB-T

Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Digitalización de la señal de video, Pág. 113.

La cantidad de programas SDTV, que se pueden transmitir en 6 MHz, depende en primera instancia del factor o relación de compresión, que se debe aplicar a cada uno de ellos. Además, para tener una calidad broadcasting, la compresión a aplicar debe ser moderada.

La resolución de movimientos, depende de la relación de compresión aplicada y esta está directamente ligada al contenido del programa. Si este contiene movimientos rápidos, la compresión a aplicar debe ser moderada.

Una velocidad de 8 Mbps de mínima, es ideal para tener una buena resolución de movimientos, en programas de deportes rápidos por ejemplo.

En ese caso, en 6 MHz de ancho de banda y para 20 Mbps de velocidad binaria total, se pueden transportar dos programas de deportes rápidos comprimidos a 8 Mbps cada uno. Todavía, nos queda espacio en el espectro para un programa de video con movimientos moderados, como ser noticias o películas a 4 Mbps.

2. VIDEO DIGITAL

2.1 Transmisión de video digital

2.1.1 Tipos de señales de video digital

Existen dos tipos de señales de vídeo digital. La primera de ellas se denomina SDI (Serial Digital Interface) y es una señal de bits serie. Esta señal es transportada por un solo cable coaxial, siendo la impedancia característica del mismo de 75 Ohms. El conector utilizado es el BNC.

La segunda señal es la de bits paralelo y es transportada mediante pares de cables balanceados. Estos tienen una impedancia característica de 110 Ohms. El conector utilizado es del tipo DB 25.

Ambas señales, la de bits serie y paralelo, tienen un formato o estructura en común. Aunque la señal más utilizada hoy día es la de bits serie (SDI), analizaremos primero los parámetros comunes a ambos tipos de señales y luego cada una de ellas en particular.

2.1.1.1 Parámetros y características comunes a las señales digitales de bits serie y paralelo.

El flujo o tren de datos digital se transmite en el siguiente orden de muestras: Cb, Y, Cr, Y, Cb, Y, Cr.

Este flujo es multiplexado a 27 MHz y cada una de las muestras es cuantificada a 10 bits.

Cada muestra posee tres componentes que son; luminancia (Y) que está co-situada con Cb y Cr. Las tres muestras superpuestas representan cada píxel. En el tren de datos la primer muestra está formada por las componentes Cb, Y y Cr.

Continuando con el orden de las muestras, en el tren multiplexado tenemos la muestra de luminancia (Y) que corresponde al segundo píxel de nuestra. Aquí solo se muestrea luminancia, debido a que estamos muestreando con una estructura 4:2:2. A continuación, nuevamente se repite la primer secuencia y así sucesivamente.

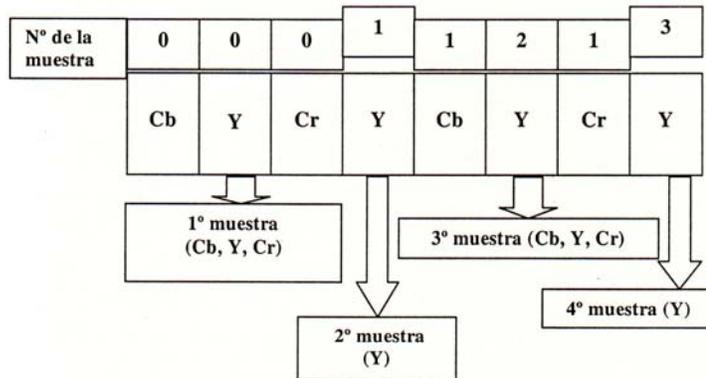
En la estructura 4:2:2 se muestrean 720 píxeles (muestras) de luminancia por línea activa. A su vez, se muestrean 360 píxeles (muestras) de cada una de las señales diferencia de color Cb y Cr, también por línea activa.

En total tenemos 1440 muestras por línea activa. Por cada una de estas líneas, las 720 muestras de luminancia (Y) se numeran de 0 a 719 y las 360 muestras de cada una de las señales diferencia de color Cb y Cr, se numeran de 0 a 359.

En la figura 27 se representan las primeras cuatro muestras de la línea activa digital y el orden de las mismas en el tren de datos.

La primer muestra en el tren de datos identificada con el número 0, corresponde a las tres componentes superpuestas o co-situadas Cb, Y y Cr.

Figura 27. Primeras cuatro muestras de la línea activa digital y el orden de las muestras en el tren de datos.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
La Señal de Video Digital, Pág. 69.

A continuación, en el tren de datos tenemos la segunda muestra de la línea activa, que es la de luminancia (Y). Esta está identificada con el número 1 en la figura 27. Luego, se repite la secuencia como al principio o sea (Cb, Y, Cr), que corresponden a la tercera muestra identificada con el número 1 (Cb y Cr) e identificada con el número 2 tenemos la muestra (Y).

A continuación, tenemos la muestra de luminancia (Y) solamente, que corresponde a la cuarta muestra y está identificada en la figura con el número 3 y así sucesivamente. De esta forma, se va multiplexando el tren de datos.

Las últimas muestras de la línea activa digital se representan en la figura 28. Debido a que la estructura de muestreo es 4:2:2, la última muestra (719) es muestreada solo en luminancia. En la muestra anterior se muestrea luminancia y ambas señales diferencia de color, por ende corresponde a Y (718), Cb (359) y Cr (359). La muestra (717) corresponde a luminancia (Y) solamente, la muestra anterior a luminancia (716), Cb (358) y Cr (358) y así sucesivamente.

Cada una de las muestras, en la estructura de datos de la señal multiplexada, está cuantificada a 10 bits por muestra de resolución.

Figura 28. Últimas muestras en el tren de datos.

Nº de la muestras

358	716	358	717	359	718	359	719
Cb	Y	Cr	Y	Cb	Y	Cr	Y

Orden de la muestras

Fuente: Televisión Digital Avanzada,
La Señal de Video Digital, Pág. 70.

2.1.1.2 Relación entre la línea activa digital y la referencia analógica de sincronismo.

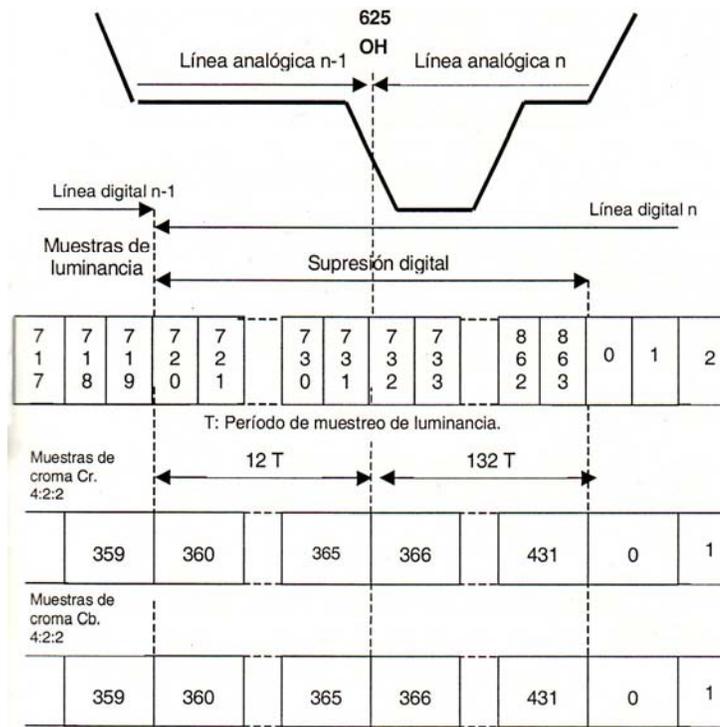
La relación entre la línea activa digital y la referencia analógica de sincronismo, para las relaciones de aspecto 4:3 y 16:9 se muestran en la figura 29. Esta relación corresponde al estándar 625/50, para una frecuencia de muestreo de luminancia de 13,5 MHz.

La supresión de la línea digital, comienza con la muestra (720) de luminancia y finaliza en la muestra (863). Recordemos que se muestrean por línea total 864 muestras de luminancia, numeradas de 0 a 863.

Para ambas señales diferencia de color Cb y Cr, la línea activa digital comienza con la muestra número 0 hasta la 359. La supresión de la línea digital para Cb y Cr comienza con las muestras (360) y finaliza con las muestras (431).

Por línea completa (línea activa digital más el retrazado), se muestrean 432 muestras para cada una de las señales diferencia de color Cb y Cr. Estas muestras se numeran de 0 a 431.

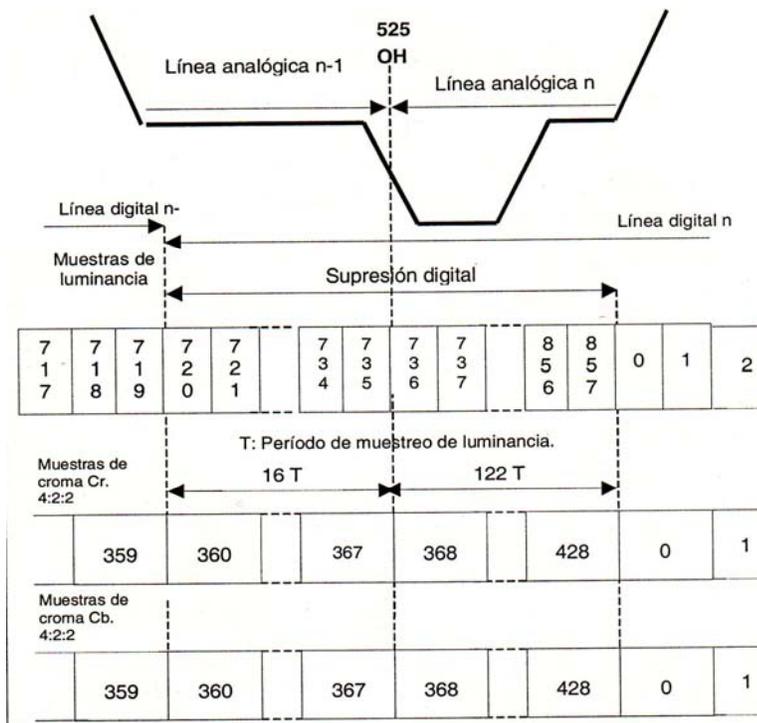
Figura 29. Relación entre la línea activa digital y la referencia analógica de sincronismo. Esta corresponde para 625/50 y una frecuencia de muestreo de 13,5 MHz para la señal de luminancia.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
La Señal de Video Digital, Pág. 71.

La misma relación, pero para el estándar 525/60 e igual frecuencia de muestreo de 13,5 MHz para la señal de luminancia, es representada en la figura 30.

Figura 30. Relación entre la línea activa digital y la referencia analógica de sincronismo. Esta corresponde para 525/60 y una frecuencia de muestreo de 13,5 MHz para la señal de luminancia.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
La Señal de Video Digital, Pág. 72.

Aquí, la cantidad de muestras de luminancia por cada línea completa o total es de 858, numeradas de 0 a 857. La cantidad de muestras por cada línea completa, de cada una de las señales diferencia de color Cb y Cr es de 429 muestras y son numeradas de 0 a 428.

Como se había mencionado anteriormente, se entiende por línea total o completa a la línea activa digital más el retrazado. En ambos estándares (525/60 y 625/50), la cantidad de píxeles muestreados por línea activa es la misma.

2.1.2 Identificación del tren de datos

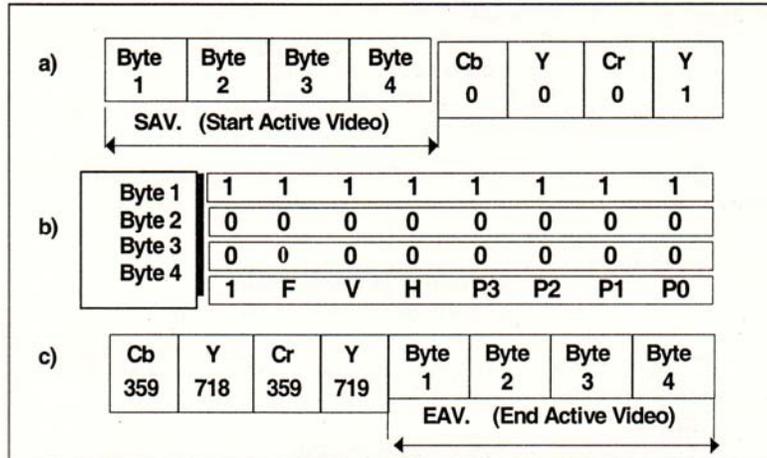
El tren de datos digital lleva además de la información propiamente dicha, los datos de sincronización. Estos nos indican en que momento comienza y finaliza la línea activa digital, si se está barriendo el primer campo o el segundo y si estamos en el video activo o en el intervalo de campo.

Para 8 bits tenemos $2^8 = 256$ niveles de cuantificación. De este total, se utilizan para la información 254 niveles. El primer nivel (0) y el último (255) se utilizan para la sincronización solamente.

Recordemos que para 8 bits el primer nivel corresponde a 0000 0000 y el último nivel a 1111 1111.

En la figura 31 se muestran los 4 bytes de sincronización, al comienzo y al final de la línea activa digital. Estos datos corresponden a 8 bits por muestra de resolución.

Figura 31. Estructura de los cuatro bytes de sincronización, para una cuantificación de 8 bits por muestra de resolución.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
La Señal de Video Digital, Pág. 73.

Los datos de sincronización agrupados en 4 bytes se envían al principio y al final de cada línea activa digital, ver figura 31 a) y c).

En la parte a) de la figura 31, se muestran los cuatro bytes al comienzo de la línea activa digital. Estos bytes corresponden al SAV (Start Active Video) o sea arranque de la línea activa.

En la parte b) de la figura vemos que para una cuantificación de ocho bits, el primer byte tiene ocho unos. Luego viene el segundo byte con ocho ceros. A continuación, sigue el tercer byte con ocho ceros y finalmente tenemos el cuarto byte. El primer bit del cuarto byte es siempre 1. Este bit es el MSB o sea el bit más significativo. El segundo, tercero y cuarto bit son los bits de identificación y a continuación tenemos cuatro bits de paridad denominados P3, P2, P1 y P0. Estos bits se utilizan para detectar y corregir errores.

En la parte c) de la misma figura, se muestran los cuatro bytes de sincronización al final de la línea activa. Estos están representados como EAV (End Active Video) o sea fin de la línea activa.

Aquí podemos apreciar que el primer byte de sincronización arranca justo después de la muestra (719) de luminancia. Esta es la última muestra de la línea activa. Recordemos que, se muestrean 720 píxeles de luminancia por línea activa digital y se numeran de 0 a 719.

Volvamos al cuarto byte de sincronización. El primer bit del cuarto byte de sincronización o MSB es siempre 1. El segundo bit de este byte es F que corresponde a la identificación de campo. Es así que cuando:

F = 0, corresponde al campo 1.

F = 1, corresponde al campo 2.

El tercer bit del cuarto byte es V, que corresponde a la identificación de blanking vertical.

Cuando:

V= 0, durante el video activo.

V= 1, durante el intervalo de campo.

El cuarto bit del cuarto byte es H, que corresponde a la identificación del blanking horizontal.

Cuando:

H= 0, está en SAV.

H= 1, esta en EAV.

En la tabla VI se muestran los intervalos de supresión de campo digital para los estándares 625/50 y 525/60.

Analizaremos los distintos estados que toman V y F en ambos estándares.

Para 625/50, el intervalo de supresión del campo 1 comienza en la línea 624, donde $V=1$. El intervalo de este campo finaliza en la línea 23, siendo ahora $V=0$.

El intervalo para el campo 2 comienza en la línea 311 para $V=1$ y finaliza en la línea 336, para $V=0$.

Para 525/60, el intervalo de supresión del campo 1 digital comienza en la línea 1 cuando $V=1$ y finaliza en la línea 10, para $V=0$.

El intervalo del campo 2 comienza en la línea 264 cuando $V=1$ y finaliza en la línea 273 para $V=0$.

La identificación F con sus dos estados, nos indica en que línea comienza el campo digital 1 ó el 2.

Para 625/50, cuando $F=0$ nos indica que estamos en el campo 1 y comienza en la línea 1. En cambio, cuando $F=1$ significa que comienza el campo 2 con la línea 313.

Para 525/60, cuando $F=0$ nos indica que comienza el campo 1 con la línea 4. Cuando $F=1$ nos indica que comienza el campo 2 con la línea 266.

Tabla VI. Identificaciones de intervalos de campos.

	625/50	525/60
V- Supresión de campo digital.		
Campo 1		
Comienzo V=1	624	1
Final V=0	23	10
V- Supresión de campo digital.		
Campo 2		
Comienzo V=1	311	264
Final V=0	336	273
F- Identificación de campo digital.		
Campo 1 - F=0	1	4
Campo 2 - F=1	313	266

Nota 1: Las señales F y V, cambian de estado en sincronismo con el código de referencia de temporización EAV (End of Active Video) - fin del video activo, al comienzo de la línea digital.

Nota 2: La definición de los números de línea figuran en la Recomendación ITU-R.BT.470. Obsérvese que, el número de línea digital cambia de estado antes de OH, como se describe en la Recomendación ITU-R.BT.601.

Las distintas configuraciones, que pueden tomar las identificaciones F, V y H para 8 bits con los bits de protección, se ilustran en la tabla VII.

Tabla VII. Distintas configuraciones que pueden tomar las identificaciones F, V y H para 8 bits con los bits de protección.

Referencia	F	V	H	P3	P2	P1	PO
A	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	1	1	1	0	1
C	0	1	0	1	0	1	1
D	0	1	1	0	1	1	0
E	1	0	0	0	1	1	1
F	1	0	1	1	0	1	0
G	1	1	0	1	1	0	0
H	1	1	1	0	0	0	1

Analicemos la referencia (C) de la Tabla VII, para 625/50. En este caso tenemos;

F=0. Nos indica que comienza el campo 1 en la línea 1.

V=1. Nos indica la supresión del campo digital. Para el campo 1 comienza en la línea 624 y para el campo 2 comienza con la línea 311.

H=0. Nos indica que estamos en el SAV.

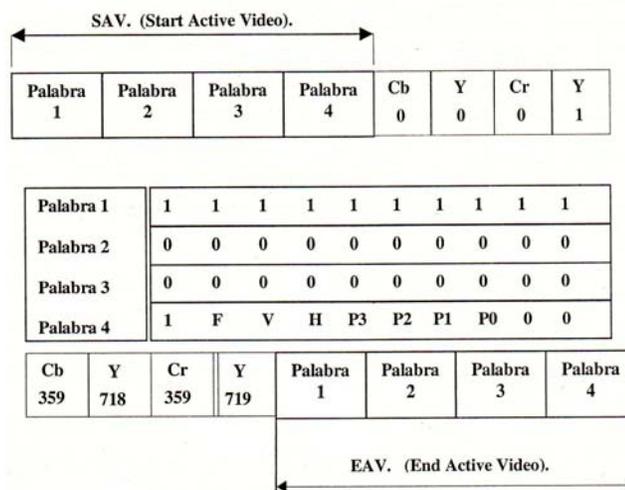
Para cada uno de los ocho estados posibles que pueden tomar F, V y H, tenemos los bits de protección correspondientes. En la tabla IX se muestran las distintas configuraciones que pueden tomar F, V y H.

Tabla VIII. Análisis de las distintas configuraciones que pueden tomar F, V y H.

	F	V	H
A	Campo 1	Video activo	Arranque video activo. SAV
B	Campo 1	Video activo	Fin video activo EAV
C	Campo 1	Intervalo de campo	Arranque video activo. SAV
D	Campo 1	Intervalo de campo	Fin video activo EAV
E	Campo 2	Video activo	Arranque video activo. SAV
F	Campo 2	Video activo	Fin video activo EAV
G	Campo 2	Intervalo de campo	Arranque video activo. SAV
H	Campo 2	Intervalo de campo	Fin video activo EAV

Las palabras de sincronización en 10 bits se muestran en la figura 32. El SAV está compuesto por cuatro palabras. La primera de ellas tiene diez unos. La segunda y tercera palabra están compuestas por diez ceros cada una. A continuación viene la cuarta palabra y el primer bit de esta es siempre un "1". Luego vienen las identificaciones F, V y H y a continuación los cuatro bits de paridad. El noveno y décimo bits corresponden a "00". El EAV está compuesto por cuatro palabras que van al final del bloque de datos. La última muestra es la de luminancia (719) y a continuación viene el EAV.

Figura 32. Las cuatro palabras para la sincronización en 10 bits.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
La Señal de Video Digital, Pág. 78.

2.1.3 Tiempos de la señal digital.

El multiplexado de la señal digital es de 27 Mega-muestras/seg. El período T (período de clock) tiene una duración de: $T = 1/27 \text{ MHz} = 37 \text{ nanoSeg}$.

Los distintos períodos (T) de la señal digital en los estándares 625/50 y 525/60, están indicados en la tabla IX. Cada período T corresponde a 37 nanoSeg de clock.

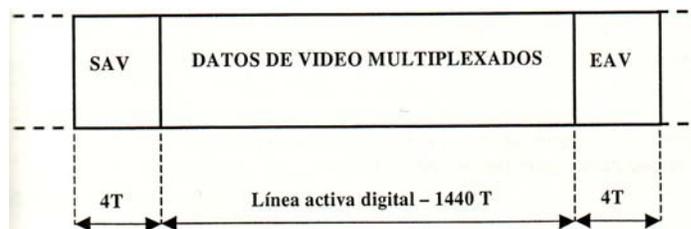
La línea activa digital en la estructura 4:2:2, es un bloque que contiene 1440 palabras de datos de vídeo multiplexado.

Tabla IX. Relaciones de tiempos de la señal digital para 625/50 y 525/60.

Señal Digital	625/50	525/60
Línea activa	1440T	1440T
Línea inactiva	288 T	276 T
Línea total	1728 T	1716T
EAV	4T	4T
SAV	4 T	4 T

El bloque de datos de video de la señal digital está representado en la figura 33. Los períodos de la línea activa digital del SAV y EAV son iguales para 625/50 y 525/60.

Figura 33. Período de línea activa digital del SAV.

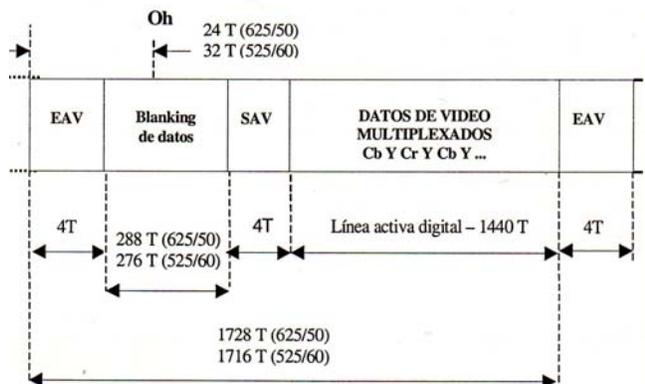


Fuente: Televisión Digital Avanzada,
La Señal de Video Digital, Pág. 79.

En la figura, podemos observar que la línea activa digital está compuesta por 1440 períodos de muestras. El SAV y el EAV están compuestos por cuatro períodos cada uno.

Una representación más completa donde se incluye el blanking de datos, se muestra en la figura 34. Entre un EAV (End Active Video) y un SAV (Start Active Video) no se transmite información de video). Existen dos referencias de tiempo en el bloque de datos. La primera de ellas es cuando comienza el SAV y la segunda cuando finaliza el EAV.

Figura 34. Período de línea activa digital del EAV.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
La Señal de Video Digital, Pág. 80.

2.1.4 Interfaces

Para la transmisión de los datos, la recomendación ITU-R.BT.656 prevé dos tipos de interfaces. Estas se refieren a la interconexión entre un equipo Emisor y uno Receptor.

La información de datos va codificada en forma binaria en palabras de 8 ó 10 bits. Existen dos tipos de interfaces para la interconexión de equipos;

Interfaz para bits serie. El tren de datos se transporta por un solo cable coaxial. Utiliza conector BNC.

Interfaz para bits paralelo. El tren de datos se transporta mediante pares de cables. Utiliza conector tipo DB 25.

2.1.4.1 Interfaz para bits serie. Señal SDI.

Esta interfaz se refiere a la señal SDI 4:2:2 / 270 Mbit/Seg. Se la denomina SDI. o también 656 Serie.

La señal SDI ha sido digitalizada con una estructura de muestreo de 4:2:2 y se ha aplicado una cuantificación de 10 bits por muestra de resolución, resultando una velocidad binaria de 270 Mbps. En este tren de bits serie el clock, viaja con el tren de datos.

En la estructura 4:2:2 la frecuencia de muestreo es:

13,5 MHz para Y

6,75 MHz para Cb

6,75 MHz para Cr

Si calculamos la velocidad binaria de cada una de las componentes, tenemos:

Velocidad binaria de: Y = 13,5 x 10 bits = 135,0 Mbps.

" " Cb = 6,75 x 10 bits = 67,5 Mbps.

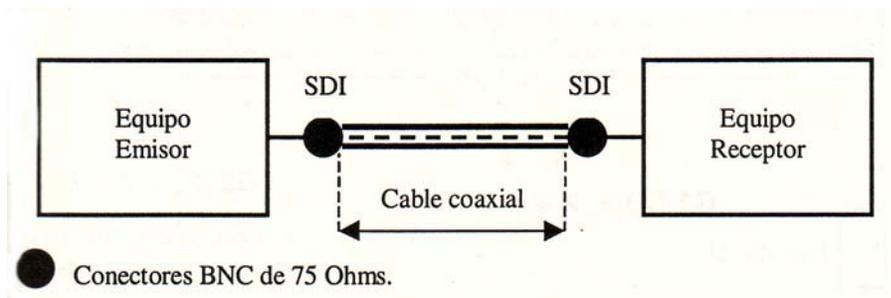
" " Cr = 6,75 x 10 bits = 67,5 Mbps.

Donde la velocidad binaria total, es la suma de las velocidades de cada una de las componentes.

Velocidad binaria total (SDI) = $13,5 + 67,5 + 67,5 = 270$ Mbit/seg.

En la figura 35 se representa un diagrama de interconexión en SDI entre dos dispositivos o equipos.

Figura 35. Diagrama de interconexión en SDI de dos equipos.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
El Porque de la Compresión, Pág. 81.

2.1.5 Codificación de la señal SDI

Los datos de la interfaz de bits serie se transmiten codificados en NRZI (Non Return To Zero Invert). Esta codificación, se efectúa mediante un polinomio que produce una codificación NAZI a partir de una codificación NRZ (Non Return to Zero).

El polinomio para NRZ es:

$$G1(X) = X^9 + X^4 + 1$$

Donde: X es el flujo de datos serie.

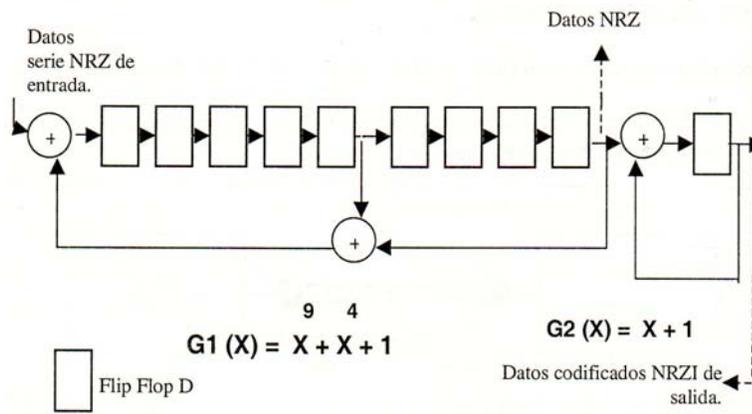
El polinomio para NRZI es: $G2(X) = X + 1$

El polinomio $G1(X)$ está compuesto por nueve Flip Flops D, que constituyen un Registro de Desplazamiento.

El polinomio $G2(X)$ está constituido por un Flip Flop D realimentado. A este Flip Flop ingresan los datos NRZ y a la salida del mismo tenemos los datos en NRZI.

En la figura 36 se representa el diagrama del Registro de Desplazamiento.

Figura 36. Codificación polinómica.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
El Porque de la Compresión, Pág. 82.

Por cada bit de entrada, hay un bit de salida que es enviado al Flip Flop del Codificador. De esta manera, un bit de salida está determinado por el estado de los diez Flip Flops y el bit de entrada.

El polinomio $G1$ corresponde a los nueve Flip Flops D que componen = Registro de Desplazamiento, mientras que el polinomio $G2$ corresponde al décimo Flip Flop D.

La codificación NRZI hace que el tren de datos serie no tenga polaridad. Para los sistemas de transmisión esto es fundamental pues no se requiere una cierta polaridad de la señal en el Receptor.

En NRZI, la transición de datos es utilizada para representar los unos "1" y no hay transición para los datos que son ceros "0". Esto implica que solo es necesario detectar las transiciones.

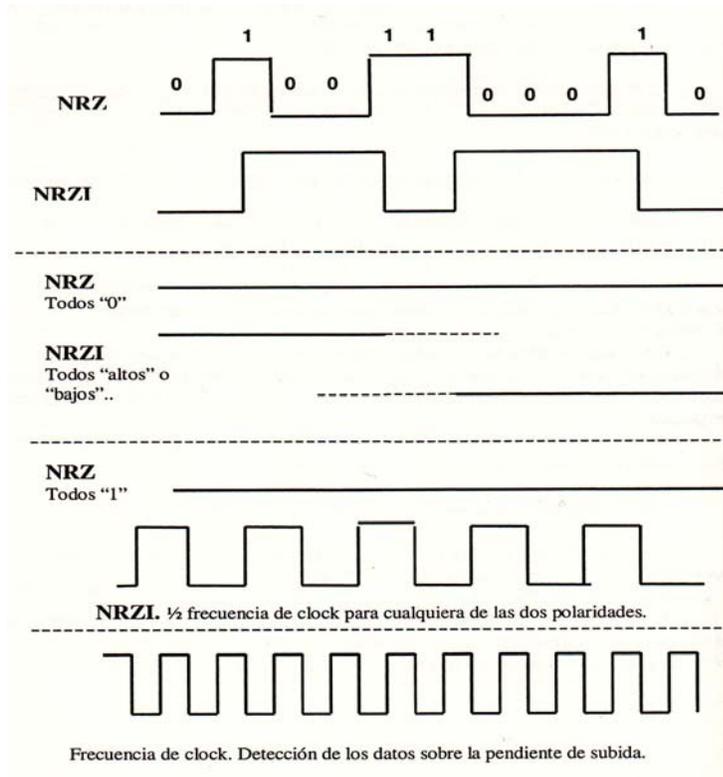
La señal codificada en NRZI es aquella que todos los "1" producen transiciones para todos los intervalos de clock y el resultado es una onda cuadrada de la mitad de la frecuencia del clock. En cambio, los "0" no producen transición.

En el dispositivo Receptor, la decodificación de los datos se efectúa exactamente a la inversa. Los esquemas para NRZ y NRZI se muestran en la figura 37.

En la codificación NRZ (Non Return to Zero) un "0" corresponde a un nivel bajo y un "1" corresponde a un nivel alto.

En la codificación NRZI (Non Return to Zero Inverse), el esquema de esos datos codificados implica que; cuando hay un "0" no hay cambio lógico y un "1" implica una transición desde un nivel lógico de "1" a otro nivel.

Figura 37. Relaciones para la codificación NRZ y NRZI.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
El Porque de la Compresión, Pág. 84.

2.1.6 Señal de datos y clock

Los datos se transmiten en forma codificada y en bloques. Cada uno m estos comprende una línea activa.

La señal de clock es una señal de onda cuadrada de 27 MHz. En la figura 38 se analiza una señal de datos y el pulso de clock. La duración de los pulsos se mide al 50% del valor de amplitud.

Período de clock: $1/27 \text{ MHz} = 37 \text{ nanoSeg}$, para 625/50 y 525/60.

Ancho del pulso de clock: $t = 18,5 \text{ nanoSeg. (+/- 3 nanoSeg.)}$.

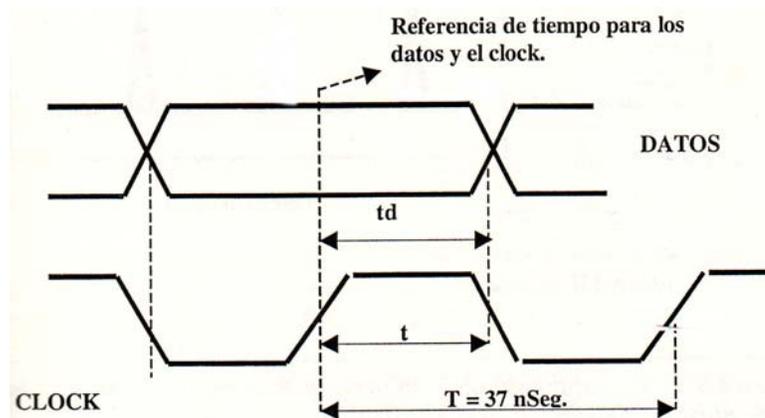
O lo que es lo mismo:

Período del clock (625/50): $T = 1 / 1728 \text{ FH} = 37 \text{ nano Seg.}$

Período del clock (525/60): $T = 1 / 1716 \text{ FH} = 37 \text{ nano Seg.}$

FH es la frecuencia de barrido horizontal.

Figura 38. Señal de datos y clock.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
El Porque de la Compresión, Pág. 85.

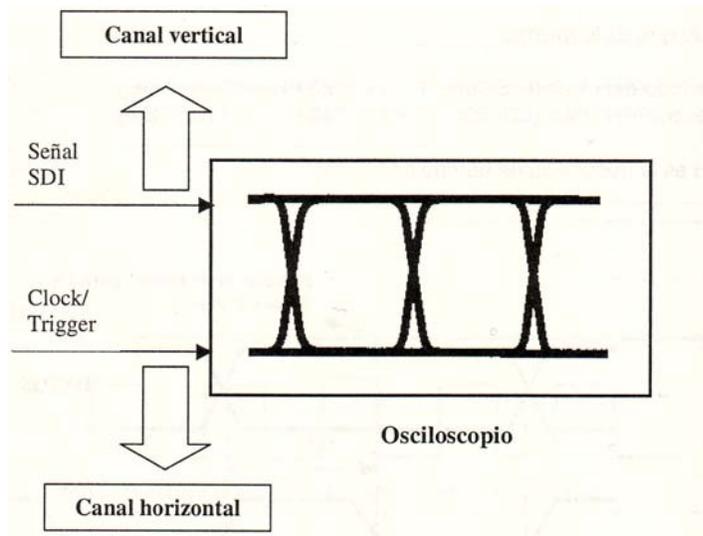
2.1.7 Medición de la señal SDI

La señal SDI puede ser vista y medida en un osciloscopio digital. La forma de onda de esta señal es un diagrama de ojos.

En la figura 39 podemos observar una señal SDI vista en el display del osciloscopio.

Por el canal vertical se ingresa con la señal SDI y por el canal horizontal con la señal de trigger o clock a efectos de sincronizar la señal.

Figura 39. Diagrama de ojos de la señal SDI mostrada en un display.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
El Porque de la Compresión, Pág. 86.

Los principales parámetros que se pueden medir en la señal SDI son: amplitud, intervalo unitario, jitter y el tiempo de subida de la señal (Rise Time). En la tabla X se analizan estos parámetros y sus especificaciones.

Tabla X. Parámetros que se pueden medir en la señal SDI.

Parámetro	Especificación	Observaciones
Amplitud	0,8 Volts pp +/- 10%	
Intervalo unitario.		Tiempo medido entre dos transiciones de señal adyacentes.
NTSC	7 ns	Corresponde a NTSC Digital Compuesto.
PAL	5,6 ns	Corresponde a PAL Digital Compuesto.
Componentes 525/60 y 625/50.	3,7 ns	Corresponde a Componentes Digitales en ambos estándares.
Jitter	<0,5 ns pp	
Risetime	0,75 a 1,5 ns	Tiempo de subida de la señal desde el 20% al 80%.

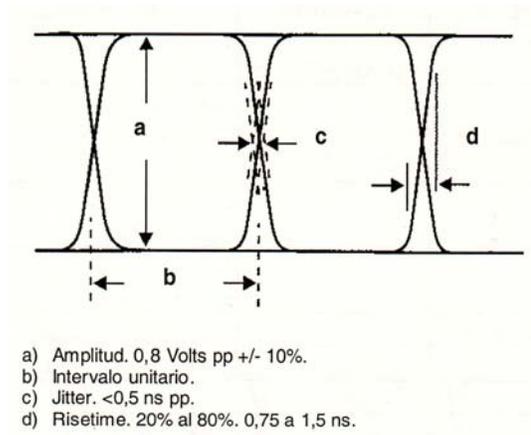
Obsérvese que la amplitud de la señal digital SDI es de 0,8 Vpp. Se tolera un jitter máximo sobre esa señal de 0,5 ns (nanoSeg.) o menos.

El tiempo medido entre dos transiciones de señal adyacentes (intervalo unitario), es distinto para cada estándar. Este tiempo resulta menor para componentes digitales que para PAL o NTSC Digital Compuesto.

En la figura 40 se pueden observar las especificaciones vistas en la tabla XI, pero sobre la señal SDI. Observando esta señal en el display de un Monitor Forma de Onda Digital, podemos medir los siguientes parámetros:

- a) Amplitud de la señal.
- b) Intervalo unitario.
- c) Jitter.
- d) Rise time

Figura 40. Especificaciones de la señal SDI.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
 El Porque de la Compresión, Pág. 88.

2.1.8 Características principales de la interfaz para bits serie (SDI).

En la tabla XI se muestran las características principales para la señal SDI, para el Emisor y el Receptor.

Tabla XI. Características principales de la señal de bits serie o SDI.

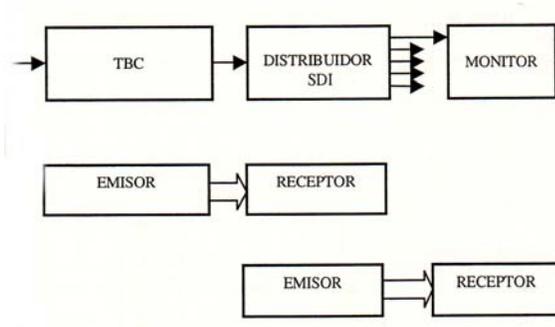
CARACTERÍSTICA	EMISOR	RECEPTOR
Transporte por un solo cable	Coaxial 75 Ohms	Coaxial 75 Ohms
Conector	BNC 75 Ohms	BNC 75 Ohms
Amplitud de la señal	800 mVpp	800 mVpp
Impedancia	75 Ohms	75 Ohms
Pérdidas de retorno	15 dB	15 dB

Como se observa en la tabla XI y se había mencionado más arriba, la señal SDI se transporta por un solo cable coaxial. Por ello, este cable debe ser de buena calidad. El 8281 de Belden es un excelente cable para video digital, debido a que tiene una alta performance a las frecuencias que son más críticas para esta señal. Además, posee doble

mallas, bajas pérdidas y un dieléctrico foam especialmente diseñado para señales digitales.

Utilizar grandes longitudes de cable, excediendo las especificaciones, implica no solo una atenuación de la señal, sino la aparición de jitter. Volvamos ahora al concepto de Emisor y Receptor expuestos en la tabla XI. Para ello, en la figura 41 se muestra un simple diagrama de bloques.

Figura 41. Caso práctico de un emisor y un receptor para el análisis de la interfaz.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
El Porque de la Compresión, Pág. 89.

El Corrector de Base de Tiempo (TBC) en este caso es el Emisor, pues su salida en SDI es la que se conecta a la entrada de otro equipo. La salida del Corrector de Base de Tiempo (TBC) se conecta al Distribuidor SDI, siendo este el Receptor. Pero este equipo también puede ser a la vez Emisor debido a que es conectado a un Monitor, siendo este último el Receptor.

Lo importante es que las entradas y salidas de los distintos equipos deben cumplir con las especificaciones de la tabla XI. En esta, se indica como Emisor a las especificaciones de salida de los equipos y como Receptor a las especificaciones de entrada de los mismos.

2.2 Compresión de imágenes

2.2.1 El porqué de la compresión

La compresión de video se viene aplicando en televisión analógica de diferentes formas. El barrido entrelazado es una forma de compresión, debido que el ancho de banda que ocupa esa señal, se reduce a la mitad. En cambio, utilizando barrido progresivo, el ancho de banda que ocuparía esa señal, sería otra forma de compresión, es la debida a las señales diferencia de color (R-Y) y (B-Y). El ojo es poco sensible a los detalles de color, por ende las señales necesitan un ancho de banda pequeño.

2.2.2 La compresión de video MPEG-2

La compresión de video es una técnica de reducción de datos redundantes y en consecuencia, una disminución de la velocidad binaria de ese flujo.

El sistema de compresión más utilizado en aplicaciones de video broad-cast, es el MPEG-2. Mediante la compresión, se logra ocupar menos ancho de banda que la misma señal original sin comprimir. En transmisión, la compresión permite la emisión de señales digitales, por el mismo espectro que ocupa un canal analógico actual.

La ventaja de emplear compresión, implica un ahorro significativo de y mayor flexibilidad de los sistemas.

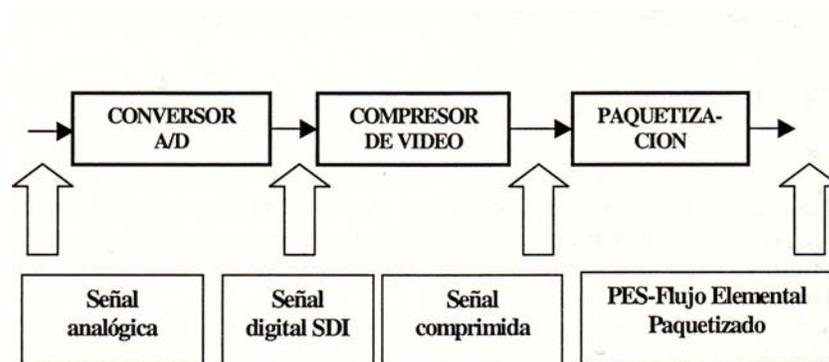
La tecnología de compresión es muy abierta, debido a que se adapta a cualquier medio físico y/o radioeléctrico.

El proceso de compresión requiere que la señal a comprimir sea digital. Si la señal a comprimir es analógica, primero se la debe digitalizar.

Las técnicas de compresión varían respecto al tipo de señales a comprimir. En efecto, para video y audio los procesos de compresión son diferentes y por ello los Compresores también lo son. Esto significa que cada una de estas señales se comprimen por separado y de diferente forma.

La figura 42 muestra un simple proceso de compresión de video. La señal de entrada es analógica y se la digitaliza a través de un Conversor A/D. Este flujo de datos es luego comprimido y paquetizado.

Figura 42. Proceso de compresión de video.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
El Porque de la Compresión, Pág. 108.

A la salida del compresor tenemos un tren de datos comprimido, cuya velocidad binaria, será menor que la de entrada.

La velocidad del flujo de datos de salida es directamente proporcional a la relación de compresión aplicada. La relación de compresión viene dada por;

$$\text{Relación de compresión} = \frac{V_i}{V_o}$$

Donde:

V_i : Es la velocidad original del tren de datos a la entrada del Compresor.

V_o : Es la velocidad del tren de datos a la salida del Compresor.

En el ejemplo de la figura 42, si la señal de entrada es un flujo de 270 Mbps (4:2:2/10 bits) y la velocidad final del tren comprimido es de 20 Mbps, la relación de compresión es de $270/20 = 13,5$. Esto significa que esa señal se ha comprimido con una relación de 13,5:1.

La señal a la salida del Compresor es paquetizada en paquetes de longitud variable. Estos paquetes se denominan PES (Packet Elementary Stream). Donde a partir de estos, se forman los paquetes de programa (PS) y los paquetes de transporte (TS).

La técnica de compresión es utilizada en estudio y en transmisión. En estudio, especialmente en Post Producción, cuando se quiere almacenar una señal digital SDI, muchas veces se recurre a la compresión.

La compresión de vídeo, audio y datos está en relación directa con la capacidad de almacenamiento de un sistema. En efecto, si queremos aumentar el tiempo de almacenamiento sin aumentar la capacidad del mismo, se debe recurrir a la compresión.

En la figura 43 se representa un sistema de almacenamiento de datos de vídeo y audio, que en este caso es un disco rígido. El tren de datos que se va a almacenar, es un flujo de datos comprimido de vídeo. Este ha sido comprimido con una relación de compresión de 4:1.

Esto significa que si la señal de entrada sin comprimir es una señal SDI de 270 Mbps, a la salida del Compresor tenemos un tren de datos con una velocidad binaria de $270/4 = 67,5$ Mbps.

NOTA: Cuando nos referimos a Estudio, queremos significar la planta de generación de señal como ser estudios, control de estudios, edición, post producción, etc. No está incluida aquí la planta transmisora.

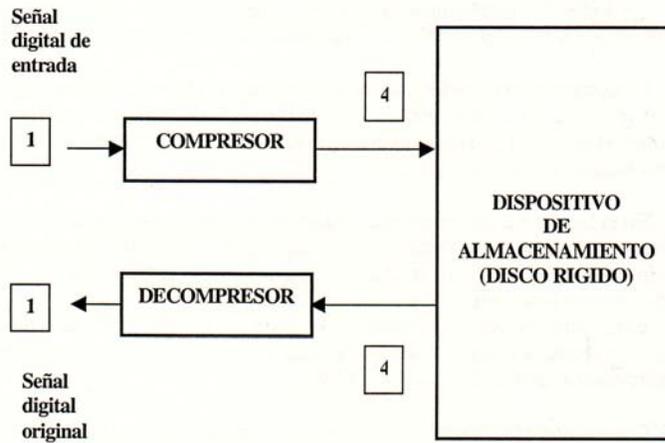
Luego, este tren comprimido ingresa al dispositivo de almacenamiento o disco rígido, previa interface.

Los datos almacenados en el disco una vez procesados, editados, etc., se pueden descomprimir a través del descompresor. Mediante este proceso, volvemos a tener el tren de datos o señal original SDI de 270 Mbps.

Mediante la compresión, hemos ganado mayor tiempo de almacenamiento, sin aumentar la capacidad del disco. Si en vez de comprimir con una relación de 4:1 se hubiesen almacenado esos flujos de datos sin compresión o sea directamente el tren de datos SDI de 270 Mbps, se hubiese necesitado para este ejemplo cuatro veces más capacidad de disco.

Cuanto más alta es la relación de compresión aplicada, mayor será la degradación. Esta se ve traducida sobre la imagen en una pérdida de resolución de movimientos. Por ello, se debe tener especial cuidado en mantener una relación de compresión moderada y acorde al tipo de contenido artístico de la señal.

Figura 43. Compresión y decompresión de datos.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
El Porque de la Compresión, Pág.110.

En este caso, no solo se logra grabar mayor tiempo con menos cinta de tape, sino que la utilización de esta tecnología los ha hecho más livianos y de dimensiones más pequeñas.

2.2.3 La Televisión digital en transmisión

La señal analógica por componentes es digitalizada para obtener una señal SDI (4:2:2 / 270 Mbps). Este flujo digital, resulta imposible transmitirlo en el mismo ancho de banda que ocupa un canal analógico actual. Independientemente de la modulación empleada, este flujo ocuparía más de 13 canales de televisión de 6 MHz cada uno ó 10 canales de 8 MHz cada uno, según a que norma de espectro nos referimos.

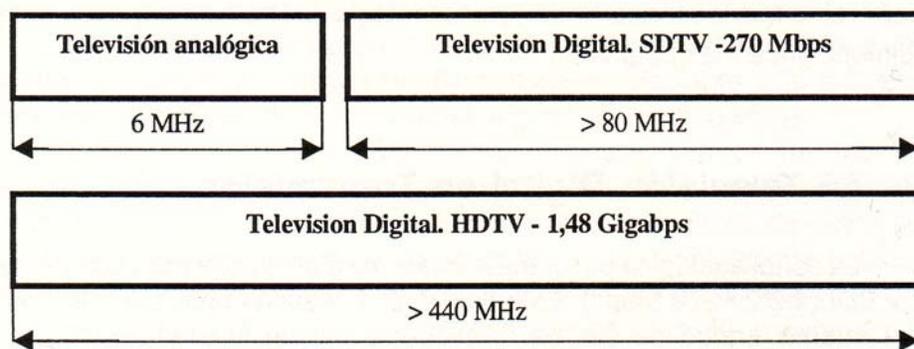
Para poder transmitir estos flujos digitales, en el mismo ancho de banda que ocupa un canal analógico actual, se recurre a la compresión.

En la figura 44 se pueden apreciar los anchos de banda aproximados, que ocuparía una señal digital de SDTV y una señal digital de Alta Definición HDTV, comparados con el ancho de banda de 6 MHz que ocupa la señal analógica.

En STDV, el tren digital SDI de 270 Mbps transmitido ocuparía un ancho de banda de más de 80 MHz, lo que lo hace imposible que sea emitido por cualquier medio como ser canales de aire o sistemas de cable, debido a la gran capacidad de espectro que ocupa. También, resulta imposible transmitir un flujo digital de HDTV en 6 MHz de ancho de banda. Este flujo, tiene una velocidad binaria de 1,48 Gigabit/Seg. y ocuparía más de 70 canales de 6 MHz de ancho de banda cada uno.

Un canal de HDTV digital necesita aproximadamente para ser transmitido 420 MHz de ancho de banda. Solo es posible transmitir estas señales digitales, reduciendo convenientemente las velocidades binarias de esos flujos de datos.

Figura 44. Espectro aproximado que ocupan las señales digitales SDTV y HDTV sin comprimir. Comparación con el espectro que ocupa la televisión analógica en 6 MHz de ancho de banda.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
El Porque de la Compresión, Pág.112.

2.2.4 Capacidad de programas a transmitir

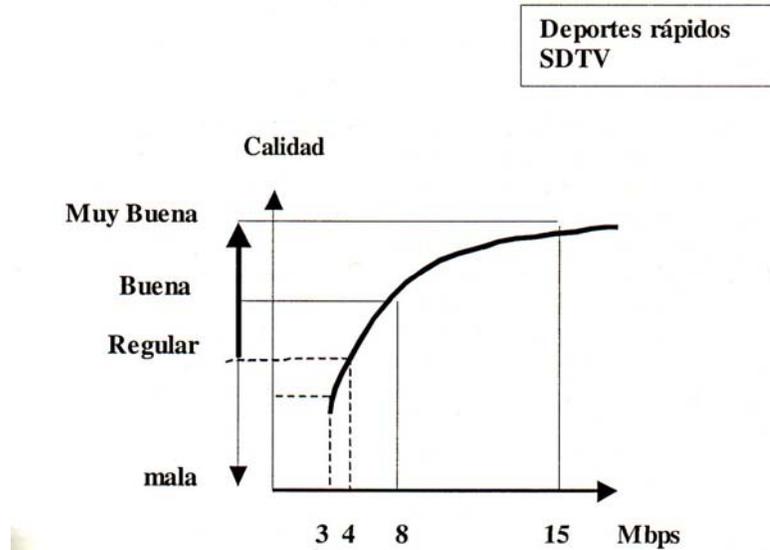
Como se había mencionado, la cantidad de programas digitales a transmitir, en un canal de 6 MHz de ancho de banda y a una velocidad binaria total de casi 20 Mbps, está directamente relacionada con el factor de compresión a aplicar a cada uno de los programas.

Además, la relación de compresión a aplicar dependerá del contenido del programa que se quiere comprimir.

En la figura 45, se ilustra una curva que representa la calidad subjetiva de la señal digital, en función de la velocidad binaria en Mbps. Esta curva es subjetiva y empírica, ya que ha sido trazada en base a un promedio de observadores, evaluando en este caso un programa de deportes rápidos a distintas velocidades binarias o lo que es lo mismo a distintas relaciones de compresión. Para esta evaluación, la velocidad binaria se ha ido variando en pasos desde 3 a 15 Mbps. El estándar MPEG-2 opera con velocidades desde 1,5 Mbps hasta 15 Mbps, para SDTV en el Perfil Principal / Nivel Principal (MP @ ML).

En la figura 45, sobre la ordenada tenemos la escala de calidad, desde el punto de vista de la resolución de movimientos. Esta va desde mala, pasando por regular, buena y hasta muy buena. Esta escala está en función de la velocidad binaria. Podemos observar que para una velocidad de 3 Mbps, la calidad de la imagen está todavía por debajo de regular. Recién en 4 Mbps se alcanza ese valor de calidad.

Figura 45. Calidad de la señal digital en función de la velocidad binaria.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
El Porque de la Compresión, Pág. 115.

En la misma figura, vemos que para 8 Mbps, la calidad de la imagen es buena y para 15 Mbps la calidad es muy buena. Este ejemplo es extremo o sea para programas con contenidos cuyos movimientos son rápidos y con un elevado nivel de exigencia.

Si la relación de compresión es baja (para programas con movimientos rápidos), la velocidad binaria será mayor y la resolución de movimientos será mejor. En ese caso, podemos transportar un número determinado de programas SDTV. Si se quiere aumentar la cantidad de programas comprimidos a transmitir, se debe aumentar la relación de compresión de cada uno de ellos. En este caso, la velocidad binaria se reduce y la resolución de movimientos será peor. Este último, es el caso de la televisión por satélite, donde en un determinado ancho de banda impuesto por el transpondedor, debemos incluir la mayor cantidad de señales y esto nos obliga a usar mayores relaciones de compresión.

Para un programa en particular, podemos decir que si el Compresor es de muy buena calidad, una señal de video digital de 8 Mbps, cuyo contenido son movimientos de deportes rápidos, es una señal que podemos denominar broadcasting.

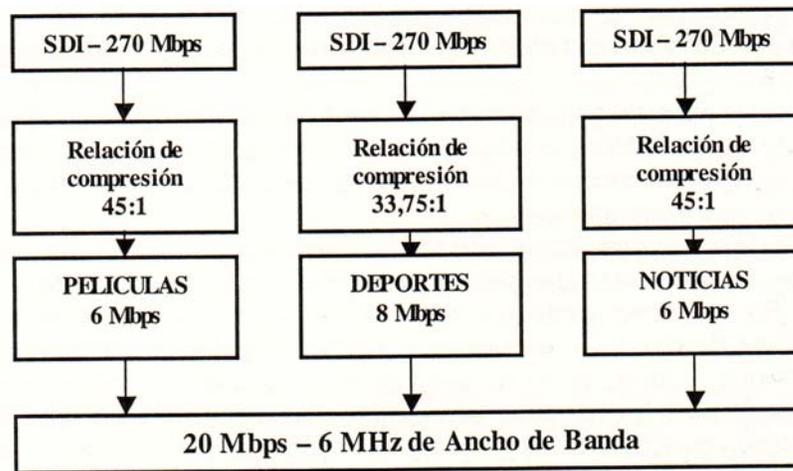
¿Cual es la mayor cantidad de programas que se pueden transportar en 6 MHz de ancho de banda y a una velocidad binaria total cercana a los 20 Mbps, manteniendo una buena resolución de movimientos?

No existe una regla determinada, acerca de la cantidad total de programas de SDTV a transmitir en ese ancho de banda. En primera instancia, depende de la relación de compresión aplicada a cada uno de ellos y ésta como se dijo anteriormente, será función del contenido de cada programa.

Para programas con contenidos de movimientos moderados, como noticias por ejemplo, 5 Mbps es una muy buena velocidad para obtener una buena resolución de movimientos. Sin embargo, esta velocidad es insuficiente para programas que contienen movimientos rápidos, como ser programas especiales de deportes.

En la figura 46 se muestra un ejemplo de relaciones de compresión, utilizadas para transmitir tres programas de SDTV, con diferentes contenidos de programas. En este caso, se muestran las velocidades binarias mínimas a obtener, para tener una buena resolución de movimientos.

Figura 46. Velocidades binarias para distintos tipos de programas.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
El Porque de la Compresión, Pág.116.

La cantidad de programas de SDTV a transmitir, con una resolución de movimientos adecuada, depende como se había mencionado anteriormente, de la relación de compresión a aplicar y esta dependerá del contenido de cada uno de los programas.

En programas cuyo contenido son deportes con movimientos rápidos, como se había mencionado anteriormente, una velocidad de 8 Mbps es la mínima ideal para tener una buena resolución de movimientos. De acuerdo al ejemplo de la figura 35, necesitamos aplicar una relación de compresión de 33,75:1, para comprimir el tren original de 270 Mbps a una velocidad final de 8 Mbps.

En este tipo de programas, hay muchos movimientos en las imágenes. Utilizar una alta relación de compresión, para transportar mayor cantidad de programas en el mismo ancho de banda, implica no perder calidad en cuanto a definición se refiere. Lo que se pierde es la resolución o "continuidad" de los movimientos. Esto se traduce en pérdidas

de resolución de movimientos. Por ello es importante mantener una compresión moderada.

Para programas cuyo contenido son películas con movimientos moderados, una velocidad binaria de 4 Mbps de mínima es buena. Sin embargo, para mantener una calidad broadcast, una velocidad binaria de 6 Mbps sería ideal, siendo necesario en este caso aplicar una relación de compresión de 45:1.

En la figura 47, vemos que además de los dos programas comprimidos, podemos transportar un programa más con contenido de noticias a 6 Mbps. En este caso, adoptamos para este programa una relación de compresión de 45:1.

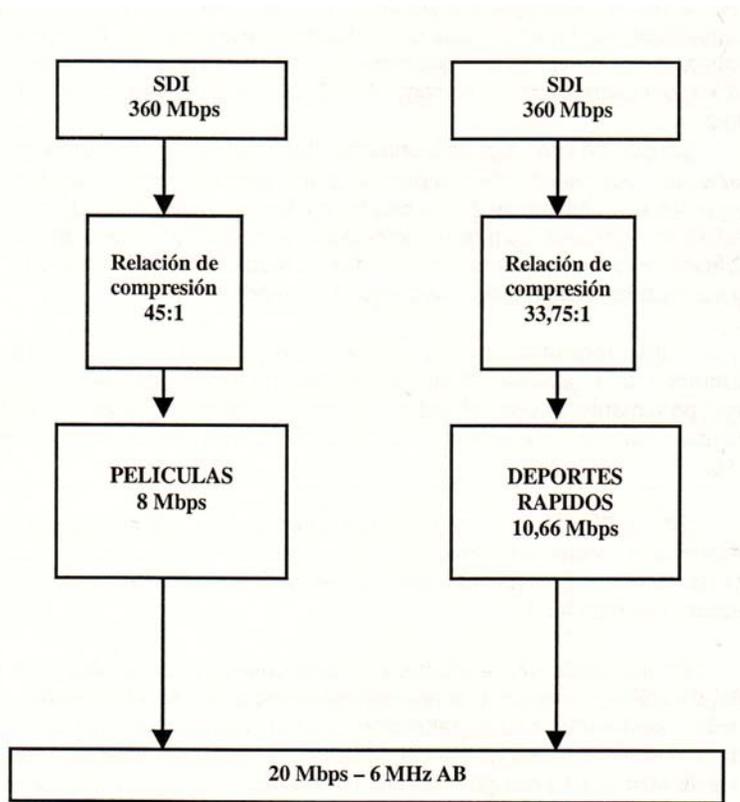
En la figura 46, analizamos el caso cuando la señal digital es una señal de SDTV, pero con una relación de aspecto de 16:9. Esta señal 4:2:2 a sido muestreada en su digitalización a 18 MHz en luminancia y 9 MHz para cada una de las señales diferencia de color. La frecuencia total de muestreo es de 36 MHz y a 10 bits de resolución por muestra, tenemos una velocidad binaria final de 360 Mbps.

Si la señal original a comprimir es una señal SDI de 360 Mbps, para mantener la misma relación de compresión que el ejemplo anterior, en casi 20 Mbps podemos transportar dos señales. Cada una de ellas tendrá una mayor velocidad binaria.

En este caso, tendremos una mejor resolución de movimientos en las imágenes, pero menor capacidad de programas a transportar.

El programa de películas con contenido de movimientos moderados, necesitaría 8 Mbps y el programa de deportes rápidos necesitaría 10,66 Mbps, para mantener la misma relación de compresión del ejemplo anterior.

Figura 47. Capacidad de programas comprimidos a transmitir en 6 MHz de ancho de banda, para señales SDI de 360 Mbps.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
El Porque de la Compresión, Pág.118.

En este caso, para mantener la misma relación de compresión que el ejemplo de la figura 47, las velocidades binarias deben ser mayores.

En el ejemplo de la figura 47, aún nos queda capacidad en el espectro para transportar datos broadcast a 1,3 Mbps.

Es importante especificar cual es la velocidad del tren digital antes de la compresión. Hemos visto que, para la misma velocidad final del tren binario comprimido, si se parte

de una señal digital de 270 Mbps o de una señal de 360 Mbps, las relaciones de compresión varían para una misma velocidad final.

Otra de las ventajas de la DTT, como ya se había mencionado, es la emisión de un programa de Alta Definición (HDTV) digital comprimido, en el mismo ancho de banda que ocupa un programa analógico actual. A una velocidad de 19,39 Mbps, en el estándar ATSC, la señal de HDTV Digital es transportada en un canal de 6 MHz. Esta velocidad del flujo de datos, es empleada con la modulación 8-VSB del estándar ATSC.

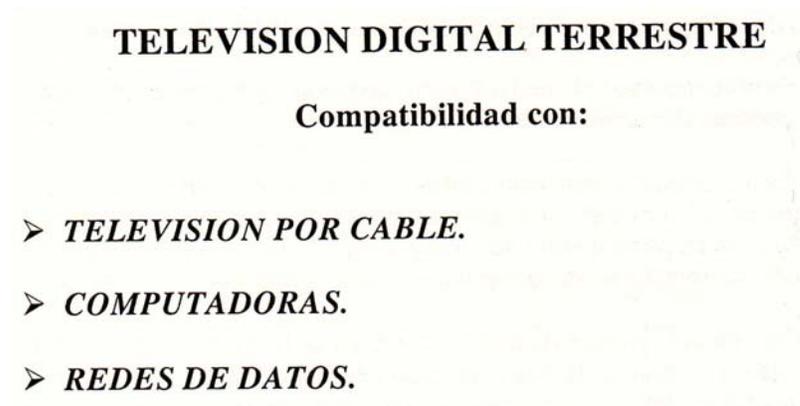
Reducir la velocidad del flujo de datos, de una señal de HDTV de 1,48 Gigabit/Seg. a una velocidad de 19,39 Mbit/Seg., implica comprimir la misma r una relación de compresión de aproximadamente 77:1. Sin embargo, aún empleando este valor tan alto de relación de compresión, sigue siendo una buena calidad de imagen para el telespectador.

Otra de las ventajas de la Televisión Digital, es la emisión de datos multimedia. En efecto, dado que lo que se va a modular son paquetes MPEG2 normalizados, el contenido del paquete puede incluir datos broadcasting.

La televisión portable y móvil también es una buena opción en DTT. Esta está asociada con plataformas multimedia y permite la interactividad, especialmente con redes de datos. Otra de las ventajas de la DTT, es la inclusión de múltiples programas digitales comprimidos de audio, para diversas aplicaciones.

En la figura 48 se muestra la compatibilidad de la Televisión Digital Terrestre con otros medios.

Figura 48. Compatibilidad de la Televisión Digital Terrestre(DTT) con otros medios.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
El Porque de la Compresión, Pág.120.

La DTT debe ser completamente compatible con Sistemas de Cable Digitales. A su vez, debe haber total compatibilidad con computadoras y redes de datos, como por ejemplo Internet.

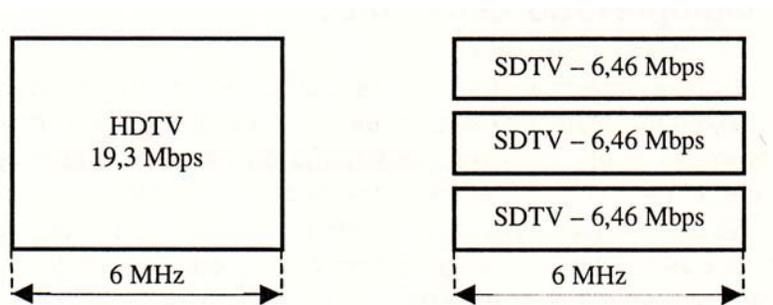
Otras ventajas y aplicaciones de la Televisión Digital es el Video On Demand, el cual permite al televidente seleccionar películas para ver desde su hogar. Acceder a juegos de todo tipo en línea, banca electrónica para todo tipo de transacciones, shopping o canales de compra, Internet y acceso a la autopista de la información, son solo algunas aplicaciones de esta nueva tecnología.

En la figura 49, se puede apreciar la capacidad estimada de programas que se pueden transportar a una velocidad total 19,39 Mbps, en un ancho de banda de 6 MHz.

En el primer caso, si el programa es de HDTV, en 6 MHz de ancho de banda y a 19,39 Mbps se puede transportar un programa con buena calidad.

Si se quiere emitir programas de SDTV con contenidos de movimientos moderados, ejemplo películas, se pueden transmitir tres programas con una buena resolución de movimientos en 6 MHz de ancho de banda. En este caso cada programa tendría una velocidad binaria aproximada de 6,46 Mbps. La cantidad de programas de SDTV a emitir en DTT puede variar, pero en el caso del programa en HDTV, solo se puede emitir un programa en el espectro de 6 MHz.

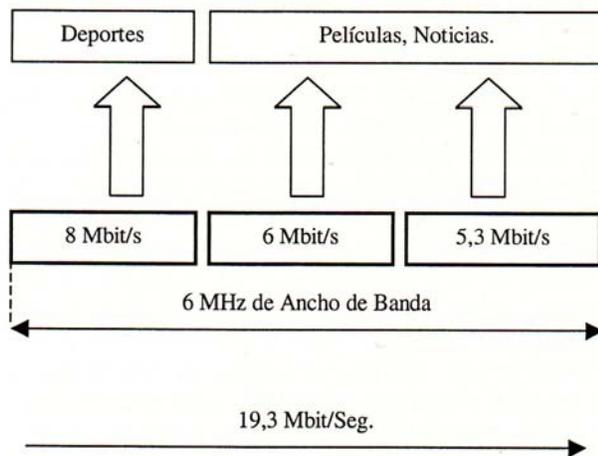
Figura 49. Capacidad de programas comprimidos a transmitir en 6 MHz de ancho de banda.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
El Porque de la Compresión, Pág.121.

En la figura 50 se muestra una transmisión de SDTV combinando contenidos, en un espectro de 6 MHz de ancho de banda y a una velocidad total de 19,3 Mbps.

Figura 50. Transmisión de tres programas comprimidos en SDTV a 19,3 Mbps de velocidad binaria total.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
El Porque de la Compresión, Pág.121.

2.2.5 Multiplexado estadístico

Para aprovechar aún más la capacidad de programas de SDTV a emitir, se recurre al multiplexado estadístico. En efecto, este tipo de Múltiplex aprovecha el análisis de los contenidos de cada programa, para fijar la velocidad binaria en ese instante, para cada uno de ellos.

El principio se basa en que diferentes tipos de programas requieren diferentes velocidades binarias instantáneas, como si se tomara una foto instantánea a instante, para mantener una buena calidad.

El multiplexado estadístico, analiza el contenido de cada uno de los cuadros que sale de cada uno de los compresores y ajusta la velocidad binaria para cada uno de los programas, en ese instante. Es así que hay programas que requieren en un mismo

momento, una velocidad binaria baja y otros programas en ese mismo instante, requieren una velocidad binaria alta.

En cada instante, el contenido de cada programa es analizado cuadro a cuadro, para determinar la velocidad binaria necesaria a aplicar.

El Múltiplex analiza la información que recibe de cada Compresor y determina la velocidad de ese programa, en ese instante.

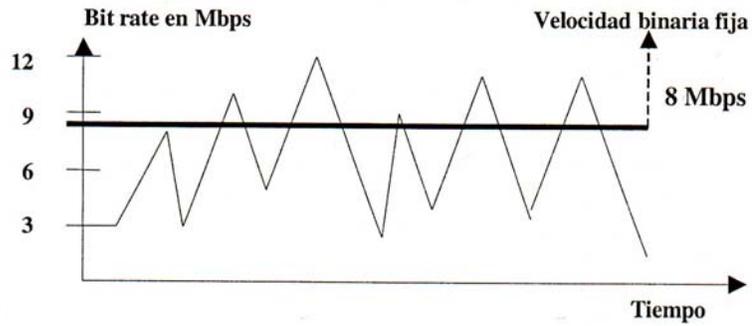
El multiplexado estadístico, permite incrementar la capacidad de programas a transmitir entre un 20% y un 25%, sin aumentar el ancho de banda.

La ventaja es que se puede ajustar por soft el rango de velocidad de cada programa en particular, limitando su acción dentro de una ventana predeterminada y dándole prioridades y jerarquías.

Generalmente, el rango de ajuste de esta ventana puede variar desde 0,5 a 10 Mbps en cada programa. A manera de ejemplo, un programa de deportes puede ser ajustado dentro de un rango de 5 a 9 Mbps, mientras que a un programa de películas, se lo ajusta entre 4 a 6 Mbps. De esta manera, se procede a ajustar el resto de los programas. Esto implica que la velocidad binaria para cada programa, excursionará dentro del rango de velocidad de máxima y mínima prefijado.

En la figura 51 se muestra la curva de velocidad binaria en función del tiempo, para un programa de deportes con movimientos rápidos, cuya velocidad ha sido previamente ajustada en 8 Mbps. Este es el caso del multiplexado común, el cual se debe ajustar el bit rate de cada programa a un valor determinado.

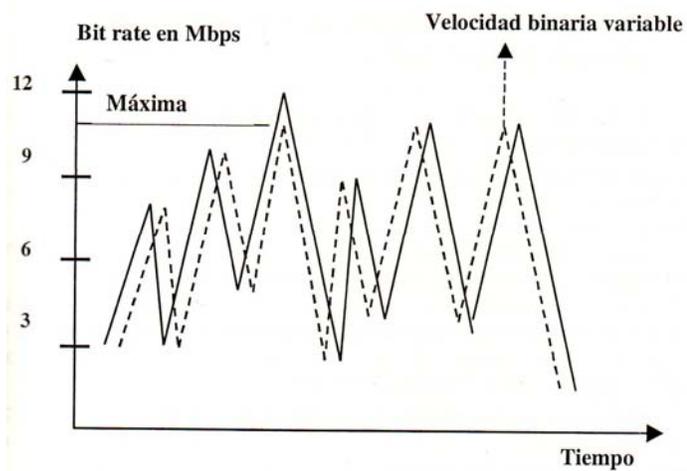
Figura 51. Velocidad fija de 8 Mbps para un programa de deportes con movimientos rápidos. Multiplexado común.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
El Porque de la Compresión, Pág. 123.

En figura 52 se representa el mismo ejemplo anterior, pero con una velocidad variable debido al multiplexado estadístico.

Figura 52. Velocidad binaria variable para un programa de deportes con movimientos rápidos. Multiplexado estadístico.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
El Porque de la Compresión, Pág. 123.

Con el multiplexado estadístico, la velocidad de cada programa va variando en cada momento de acuerdo a su contenido, hasta un determinado valor. Esto es así, pues puede ocurrir que en ese momento, otros programas tengan contenidos de movimientos moderados y las velocidades que necesitan esos programas en esos instantes, sean menores. Entonces, para este programa que contiene movimientos rápidos, en ese mismo instante, se está aprovechando la máxima velocidad binaria que tiene asignado ese programa. Aunque este programa tuviera escenas que requerirían 12 Mbps en determinados instantes, sin embargo el tope es de 11 Mbps, que había sido prefijado como valor de máxima, para mantener una buena calidad en términos de resolución.

El multiplexado estadístico, analiza el contenido de cada programa y fija la velocidad de cada uno, en función de los contenidos y en ese instante.

El análisis de los movimientos, se efectúa cuadro a cuadro, para que el Múltiplex fije la velocidad de ese programa a la salida del Compresor.

Las ventajas del multiplexado estadístico no pueden ser aplicadas cuando tenemos pocas señales o programas. Su máximo rendimiento se logra cuando se transportan más de seis programas.

2.2.6 El proceso de transmisión y recepción con señales comprimidas.

El proceso de emisión de programas comprimidos en transmisión, implica varias etapas:

En la figura 53 se ilustra una cadena de Transmisión - Recepción. Por simplicidad, se muestra solamente un programa que puede ser video o audio.

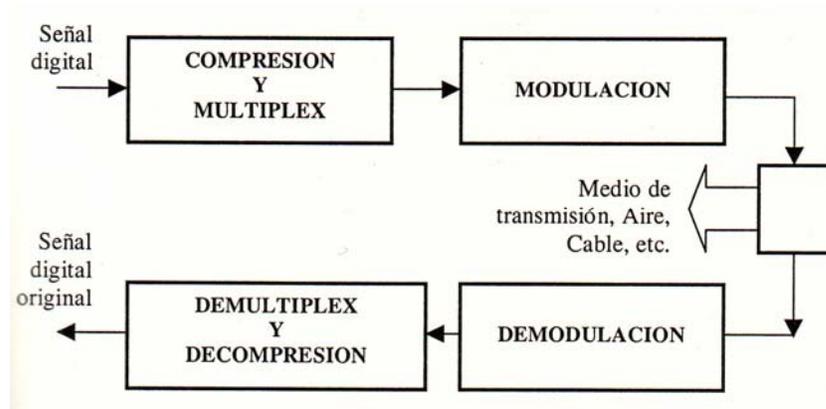
La primer etapa de esta cadena es un Compresor y Múltiplex. Aquí el tren de datos, una vez comprimido es multiplexado.

La multiplexación es la combinación de los distintos trenes de datos comprimidos, en un único Tren de Transporte final. Este flujo, como se verá más adelante, está conformado por paquetes de longitud fija de 188 bytes cada uno, denominados paquetes MPEG-2.

El Flujo de Transporte MPEG-2, será luego modulado y transmitido por los distintos medios físicos o radioeléctricos como ser Satélite, Cable o sistemas aéreos de VHF y UHF.

El tipo de modulación utilizado, dependerá del estándar adoptado y del medio de transmisión empleado.

Figura 53. Proceso básico para la transmisión de una señal digital.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
El Porque de la Compresión, Pág. 125.

2.3 Estándares de compresión digital

El estándar MPEG-2, es un conjunto o set de herramientas para la compresión de video, audio, datos y el multiplexado de los mismos. Este estándar es utilizado en aplicaciones Broadcast.

MPEG-2 se basa en las normas ISO/IEC, de las cuales, las más importantes para nuestro estudio son tres

Sistemas. (Norma ISO/IEC 13.818-1).

Esta norma define las especificaciones a nivel de Sistema. La misma prevé los protocolos de paquetización de los datos, el multiplexado y demultiplexado de los mismos, el scrambling para Acceso Condicional y los métodos de sincronización para los Codificadores y Decodificadores.

Video. (Norma ISO/IEC 13.818-2).

Las especificaciones para la Compresión y Decompresión de las señales de Video, son definidas por esta norma. Las especificaciones están organizadas dentro del estándar en Perfiles y Niveles.

Audio. (Norma ISO/IEC 13.818-3).

En esta norma, se establecen las especificaciones para la compresión y Decompresión de las señales de Audio. Básicamente, el estándar de audio MPEG-2 es similar al MPEG-1, pero con algunas mejoras. Las especificaciones están organizadas dentro del estándar en capas.

2.3.1 Características principales del estándar de video MPEG-2

En la figura 54 se muestran las principales características que prevee el estándar de video MPEG-2.

Figura 54. Características del estándar de video MPEG-2.

SISTEMA DE COMPRESIÓN DE VIDEO MPEG-2
Barrido : Entrelazado y progresivo.
Estructuras de muestreo 4:2:0, 4:2:2 y 4:4:4. Resolución de luminancia y croma: 8 bits.
Resolución: Hasta 16.383 pixeles x 16.383 líneas. Incluye todas las aplicaciones utilizadas en Radiodifusión.
Soporta formatos de imagen 4:3 y 16:9.
Velocidad de datos codificados: 400 bits/seg. hasta 439,5 Gb/s
Codificación de imagen: Intra cuadros e Inter cuadros, (imágenes I, B y P).

Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Estándar MPEG-2, Pág. 222.

MPEG-2 prevé la utilización de las estructuras de muestreo 4:2:0, 4:2:2 y 4:4:4, con una resolución de cuantificación de 8 bits por muestra de resolución.

La estructura de muestreo más utilizada es la 4:2:0. En ésta, la resolución de croma se reduce a la mitad, respecto de la estructura 4:2:2. Además, en 4:2:0 la velocidad binaria es un 25% menor que en 4:2:2. La estructura 4:4:4, a pesar de su excelente calidad, es más costosa y la velocidad binaria total es mayor que en 4:2:2. Esta estructura no es utilizada en compresión.

La velocidad binaria para la estructura 4:4:4 es:

Velocidad binaria total (4:4:4): $(13,5 + 13,5 + 13,5) \text{ MHz} \times 10 \text{ bits} = 405 \text{ Mbps}$.

Es evidente que una señal con una estructura de muestreo 4:4:4, tendrá una velocidad binaria mayor que una señal que ha sido muestreada en 4:2:2.

Si queremos comprimir la señal 4:4:4 de 405 Mbps a 6 Mbps, la relación de compresión a aplicar será:

Relación de compresión = $405/6 = 67,5:1$

Si el mismo programa lo queremos comprimir a 6 Mbps, pero partimos de una señal 4:2:2 en 270 Mbps, la relación de compresión a aplicar será:

Relación de compresión = $270/6 = 45:1$

En este caso, aplicamos menor relación de compresión para tener la misma velocidad del flujo de datos.

Una señal en 4:2:0 tiene una velocidad binaria de 202,5 Mbps. Si esta señal la comprimimos a 6 Mbps, tendremos entonces una menor relación de compresión, que los ejemplos anteriores: relación de compresión = $202,5/6 = 33,75:1$

En MPEG-2, usualmente se utiliza la estructura de muestreo 4:2:0. El estándar prevé una resolución de 16.383 píxeles por 16.383 líneas activas. Esto nos indica que están previstas otras resoluciones para ser utilizadas a futuro dentro del estándar.

El estándar MPEG-2 soporta formatos 4:3 y 16:9. Este último, se refiere al formato utilizado en HDTV o en Televisión Digital Estándar (SDTV).

La velocidad del tren digital comprimido indicada en el estándar, comienza desde 400 bits/seg. hasta 439,5 Gbit/seg. Esta velocidad es impensable que pueda ser utilizada hoy día. Sin embargo, el estándar prevé esta velocidad máxima para aplicaciones futuras.

La Codificación o Compresión de imágenes se refiere en el estándar a las imágenes I, B y P.

2.3.2 Perfiles y niveles en MPEG-2.

En el estándar de video MPEG-2 tenemos diferentes perfiles y niveles. Los perfiles determinan la relación de compresión, mientras que los niveles determinan la resolución de la imagen. A continuación se analizarán los distintos perfiles y niveles para el estándar 625/50.

Los perfiles más importantes utilizados en el estándar, se definen a continuación:

Perfil Bajo: (Low Profile). Solo utiliza cuadros I y P. En este caso, el Codificador y el Decodificador se simplifican en complejidad y precio. Al no utilizar cuadros B (bidireccionales), la calidad es pobre.

Perfil Principal: (Main Profile). Utiliza cuadros I, B y P. La calidad es superior al Perfil Bajo. También el Codificador y el Decodificador son más complejos y de mayor costo. Sin embargo, este Perfil es la mejor performance en relación calidad / relación de compresión.

Perfil SNR: (SNR Profile). Este Perfil está previsto para aplicaciones futuras.

Perfil Escalable: (Scaleable Profile). Este Perfil permite transmitir una señal de Televisión Digital Estándar (SDTV) y una de Alta definición (HDTV). Además, prevé que el Decoder reciba ambas señales.

Perfil Alto: (High Profile). Este Perfil es de un nivel superior, pero es compatible con los perfiles anteriores.

A continuación, se definen los niveles más importantes utilizados en el estándar.

Nivel Bajo: (Low Level). Este nivel corresponde a una resolución muy baja de 352 muestras por línea por 288 líneas activas.

Nivel Principal: (Main Level). Es utilizado para SDTV. Tiene una resolución de 720 muestras por línea por 576 líneas activas. Este nivel está definido para 625 líneas totales de barrido por cuadro.

Nivel Alto 14: (14 High Level). Se utiliza para HDTV. Corresponde a una resolución de 1440 muestras por línea activa por 1152 líneas activas. Este nivel está definido para 1250 líneas totales de barrido por cuadro.

Nivel Alto: (High Level). Se utiliza para HDTV. Corresponde a una resolución de 1920 muestras por línea activa por 1152 líneas activas. Este nivel está definido para 1250 líneas totales de barrido por cuadro.

2.3.2.1 Perfiles vs. nivel bajo

En este caso, se analizan los cinco perfiles con el Nivel Bajo, ver figura 55.

Figura 55. Comparación de los cinco perfiles con el nivel bajo.

PERFILES Y NIVELES DE MPEG-2		
PERFIL	ESPECIFICACIONES	NIVEL BAJO
BAJO	Cuadros I, P, 4:2:0	X
PRINCIPAL	Cuadros I, P, B, 4:2:0	352 x 288* (4 Mbps)
SNR	Cuadros I, P, B, 4:2:0	352 x 288* (4 Mbps)
ESPACIAL	Cuadros I, P, B, 4:2:0	X
ALTO	Cuadros I, P, B, 4:2:0 - 4:2:2	X

*Muestras/línea x Líneas/cuadro.

Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Estándar MPEG-2, Pág. 225.

Las velocidades indicadas en los distintos niveles, son las máximas admitidas dentro del estándar. Se pueden utilizar velocidades menores a las indicadas en cada caso.

En todos los niveles, la resolución dada corresponde al estándar 625/50. El Perfil Bajo con el Nivel Bajo no tiene aplicación. El Perfil Principal y el SNR con el Nivel Bajo, si bien tiene baja resolución, utilizan cuadros 1, B y P y permiten obtener una velocidad binaria menor o igual a 4 Mbps.

Esta velocidad, para programas con contenidos de movimientos moderados, es suficiente. Sin embargo, la resolución 352x288 no es para aplicaciones broadcast. Los perfiles Espacial y Alto con el Nivel Bajo no tienen aplicación.

2.3.2.2 Perfiles vs. nivel principal.

En la figura 56 comparamos los cinco perfiles con el Nivel Principal. El más utilizado es el Perfil Principal con el Nivel Principal, denominado MP@ML. Aquí, la estructura de muestreo de la señal a comprimir es 4:2:0 y la velocidad binaria máxima a comprimir es de 15 Mbps.

Figura 56. Comparación de los cinco perfiles con el nivel principal.

PERFILES Y NIVELES DE MPEG-2		
PERFIL	ESPECIFICACIONES	NIVEL PRINCIPAL
BAJO	Cuadros I, P, 4:2:0	720 x 576* (15 Mbps)
PRINCIPAL	Cuadros I, P, B, 4:2:0	720 x 576* (15 Mbps)
SNR	Cuadros I, P, B, 4:2:0	720 x 576* (15 Mbps)
ESPACIAL	Cuadros I, P, B, 4:2:0	X
ALTO	Cuadros I, P, B, 4:2:0 - 4:2:2	720 x 576* (20 Mbps)

*Muestras/línea x Líneas/cuadro.

Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Estándar MPEG-2, Pág. 226.

En el Perfil Alto con el Nivel Principal, se incluye además la estructura 4:2:2 y la velocidad del flujo de datos máxima es de 20 Mbps. La resolución es de 720 x 576.

El Perfil Espacial con el Nivel Principal no es utilizado.

2.3.2.3 Perfiles vs. nivel alto (High 14).

En la figura 57 se muestra la comparación de los cinco perfiles con el Nivel Alto 14. En este ejemplo, el Perfil Bajo y el SNR no tienen aplicación dentro del estándar.

El Nivel High 14 es utilizado para Televisión de Alta Definición.

El Perfil Principal con este nivel prevé 1440 muestras por línea activa por 1152 líneas activas y una velocidad binaria máxima de 60 Mbps.

Además, contempla la utilización de cuadros 1, B y P y una estructura de muestreo de la señal de 4:2:0. El Perfil Espacial con este Nivel es igual al Perfil Principal.

El Perfil Alto con el Nivel Alto 14, además de la estructura 4:2:0, emplea la estructura 4:2:2 y una velocidad máxima del flujo de datos de 80 Mbps.

Figura 57. Comparación de los cinco perfiles con el nivel alto 14 (High 14).

PERFILES Y NIVELES DE MPEG-2		
PERFIL	ESPECIFICACIONES	NIVEL ALTO 14
BAJO	Cuadros I, P, 4:2:0	X
PRINCIPAL	Cuadros I, P, B, 4:2:0	1440x1152* (60 Mbps)
SNR	Cuadros I, P, B, 4:2:0	X
ESPACIAL	Cuadros I, P, B, 4:2:0	1440x1152* (60 Mbps)
ALTO	Cuadros I, P, B, 4:2:0 - 4:2:2	1440x1152* (80 Mbps)

*Muestras/línea x Líneas/cuadro.

Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Estándar MPEG-2, Pág. 227.

2.3.2.4 Perfiles vs. nivel alto (High).

En la figura 58 se comparan los cinco perfiles con el nivel Alto (High). Este nivel también es utilizado para HDTV.

Los perfiles Bajo, SNR y Espacial con este Nivel, no tienen aplicación.

El Perfil Principal con el Nivel Principal, contempla la utilización de 1920 muestras por línea activa por 1152 líneas activas y una velocidad máxima de 80 Mbps. Utiliza cuadros 1, B y P y una estructura 4:2:0.

El Perfil Alto con el Nivel Alto, prevee una resolución de 1920 muestras por línea activa por 1152 líneas activas, a una velocidad binaria máxima de 100 Mbps. En este Perfil se emplean cuadros 1, B y P y la señal a comprimir puede ser 4:2:0 o 4:2:2. El

estándar MPEG-2, en estos perfiles y en los niveles High y High 14, prevee la utilización de 1152 líneas activas.

Figura 58. Comparación de los cinco perfiles con el nivel alto (High).

PERFILES Y NIVELES DE MPEG-2		
PERFIL	ESPECIFICACIONES	NIVEL ALTO
BAJO	Cuadros I, P, B. 4:2:0	X
PRINCIPAL	Cuadros I, P, B. 4:2:0	1920 x 1152* (80 Mbps)
SNR	Cuadros I, P, B. 4:2:0	X
ESPACIAL	Cuadros I, P, B. 4:2:0	X
ALTO	Cuadros I, P, B. 4:2:0 - 4:2:2	1920 x 1152* (100 Mbps)

*Muestras/línea x Líneas/cuadro.

Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Estándar MPEG-2, Pág. 228

2.3.2.5 Perfil principal / nivel principal (MP@ML).

El Main Profile @ Main Level (Perfil Principal @ Nivel Principal), comúnmente denominado MP@ML, es utilizado en SDTV.

Hoy día, es común en un equipo que utiliza compresión MPEG-2, especificar los parámetros de compresión, simplemente indicando la nomenclatura MP@ML.

Cuando las especificaciones de compresión se muestran de esta forma, significa que las características corresponden a las mostradas en la figura 59.

Para los estándares 625/50 y 525/60 la cantidad de muestras de luminancia (Y) por línea activa es la misma (720). La diferencia es la cantidad de líneas activas en cada estándar.

Los demás parámetros como ser; estructura de muestreo, tipo de cuadros empleados, predicción de movimiento, máxima velocidad del flujo de datos y utilización de la DCT para la codificación, son iguales para ambos estándares.

Figura 59. Especificaciones del perfil principal/nivel principal de MPEG-2 para 625/50 y 525/60.

<u>PARAMETROS MP@ML</u>
<ul style="list-style-type: none">• Muestreo de la señal digital: 720 muestras de luminancia por línea activa por 576 líneas activas. (Para 625/50). 720 muestras de luminancia por línea activa por 480 líneas activas. (Para 525/60).• Estructura de muestreo antes de la compresión: 4:2:0. *• Estructura de cuadros I, B y P con predicción de movimiento.*• Máxima velocidad del flujo de datos: 15 Mbps.*• Codificación: Transformada del Coseno Discreto (DCT).*
<p>* Para 625/50 y 525/60</p>

Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Estándar MPEG-2, Pág. 229.

2.3.3 Estándar de audio MPEG-2.

El estándar de compresión de audio MPEG-2 es similar al MPEG-1, salvo algunas diferencias. MPEG-2 prevé la codificación de múltiples programas de audio, para

aplicaciones Broadcast. En este caso, se pueden codificar hasta seis canales de audio en un solo flujo de datos.

Otra de las diferencias fundamentales, es la adopción de las frecuencias de muestreo mitad. En efecto, además de las frecuencias de muestreo utilizadas en MPEG-1 de (32 - 44,1 y 48) KHz, en MPEG-2 se utilizan las frecuencias de muestreo mitad (16 - 22,05 y 24KHz). Estas, son utilizadas para aplicaciones de programas con varios idiomas de audio, en multimedia y en productos de consumo masivo.

Mediante el sistema de Compresión de Audio MPEG-2, se logra una reducción importante del flujo de datos.

La formula para el cálculo de la velocidad binaria de varios canales de audio es;

Velocidad binaria (Mbps) = Frecuencia de muestro (KHz) x Número de bits por muestra de resolución x Cantidad de canales o programas.

Tomemos como ejemplo un flujo de datos de 6 canales AES/EBU, donde cada uno de ellos ha sido muestreado a 44,1 KHz y cuantificado a 20 bits por muestra de resolución.

Aplicando la fórmula tenemos:

$$\text{Velocidad binaria (Mbps)} = 44,1 \times 20 \times 6 = 5,29 \text{ Mbps.}$$

En MPEG-2, se pueden transportar estos seis programas de audio comprimidos en un solo flujo de datos a 384 Kbps. La relación de compresión adoptada en este caso es:

Relación de compresión = Velocidad binaria del flujo de entrada al compresor/
velocidad binaria del flujo de salida del compresor.

Aplicando la fórmula, tenemos:

Relación de compresión = $5.290 \text{ Kbps} / 384 \text{ Kbps} = 13,77:1$

2.3.4 Capas de audio en MPEG-2.

El Estándar de audio MPEG-2 está especificado en tres capas. Cada una de ellas define la calidad y su propio grado de compresión.

Estas capas, emplean técnicas especiales para la compresión de la señal de audio.

La menor relación de compresión se obtiene en la Capa I, mientras que la máxima relación de compresión, se alcanza en la Capa III.

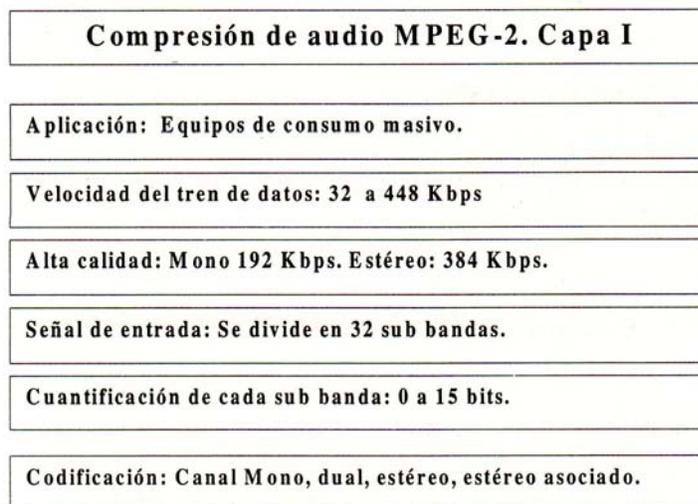
Los Decodificadores utilizados, deben ser de compatibilidad descendente. Esto significa que un Decodificador de la capa III, debe poder decodificar flujos de audio de las capas II y I. De la misma manera, un Decodificador de la capa II, debe poder decodificar un flujo de datos de audio de la capa I.

MPEG-2 es compatible con MPEG-1 con codificación mono, estéreo y canal dual.

2.3.4.1 Capa 1 de audio.

En la figura 60, se representan las características principales de la capa I de audio del estándar MPEG-2.

Figura 60. Características principales de la capa I de audio.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Estándar MPEG-2, Pág. 231.

Los parámetros de esta capa son utilizados para la codificación en equipos de consumo masivo, como ser grabadores de audio digitales, etc. Aquí, se puede codificar la señal en 14 velocidades binarias diferentes, en el rango de 192 a 448 Kbps.

La señal de entrada a codificar, es dividida mediante un Banco de Filtros en 32 bandas. Cada una de estas bandas puede tener una cuantificación de 0 a 15 bits.

Esta capa, permite alcanzar una relación de compresión de hasta 1:4 y es la que menos calidad de audio tiene de las tres.

La codificación, como se ha visto en la figura 60, se puede aplicar en cuatro configuraciones sobre esta capa.

Cada una de estas codificaciones, es definida a continuación:

Mono: Se codifica un canal solamente.

Dual: Cada canal se comprime por separado.

Estéreo: Se codifican ambos canales (izquierdo y derecho) por separado.

Estéreo asociado: Se comprimen ambos canales del estéreo juntos.

2.3.4.2 Capa II de audio.

La capa II denominada Musicam, es la que utiliza el Estándar DVB-T para Televisión Digital Terrestre. Las características principales de esta capa, se muestran en la figura 61.

Figura 61. Características principales de la capa II de audio.

Compresión de audio MPEG-2. Capa II
Aplicación: Broadcast dentro del estándar DVB-T.
Velocidad del tren de datos: 32 a 192 Kbps por canal*.
Velocidad del tren de datos: 8 a 160 Kbps por canal**.
Señal de entrada: Se divide en 32 sub bandas.
Cuantificación de cada sub banda: 0 a 15 bits.
Codificación: Canales múltiples. Canal Mono, dual y estéreo.

Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Estándar MPEG-2, Pág. 232.

*Para las frecuencias de muestreo de (32 - 44,1 y 48) KHz, la velocidad del flujo de datos comienza desde 32 hasta 192 Kbps. Las velocidades binarias fijas dentro de ese rango son por pasos, como se especifican a continuación; (32-48-56-64-80-96-112-128-160-192) Kbps.

**Para las frecuencias de muestreo mitad de (16-22,05-24) KHz, la velocidad del flujo de datos va desde 8 hasta 160 Kbps. Las velocidades binarias fijas dentro de este rango, son también por pasos, y se especifican a continuación; (8-16-24-32-40-48-56-64-80-96-112-128-144-160) Kbps.

La relación de compresión máxima que admite esta capa, es de aproximadamente 1:5,5. Esta capa, soporta además la codificación de hasta seis canales de audio.

2.3.4.3 Capa III de audio.

En la figura 62 se muestran algunas de las características principales de la capa III.

Figura 62. Características principales de la capa II de audio.

Compresión de audio MPEG-2. Capa III
Aplicación: Redes de baja velocidad.
Velocidad del tren de datos: 32 a 320 Kbps
Calidad: Mono 64 Kbps. Estéreo: 128 Kbps.
Codificación: Tabla de Huffman. Se emplea DCT.
Codificación: Canal Mono, dual, estéreo, estéreo asociado.

Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Estándar MPEG-2, Pág. 233.

La capa III de audio no tiene aplicación Broadcast. Esta capa es la única que utiliza la Transformada del Coseno Discreto y la tabla de Huffman.

La velocidad total de los datos es menor que la capa II y va desde 32 hasta 320 Kbps. En esta capa se puede aplicar una relación de compresión de 1:10 o sea casi el doble que la capa II.

3. ANÁLISIS DE LA SEÑAL DE TELEVISIÓN DE ALTA DEFINICIÓN (HDTV)

3.1 Estándares de HDTV

La Televisión de Alta Definición analógica, tuvo sus orígenes en Japón en el año 1968. En efecto, la NHK (televisión japonesa), comenzó en ese año los estudios para desarrollar un sistema de televisión de Alta Definición, que no fuera compatible con los sistemas convencionales. Estos desarrollos fueron dirigidos por el Dr. Takashi Fujio.

En 1970 finalizó el proyecto y las pruebas de este nuevo sistema. Este fue el primer desarrollo de la Televisión de Alta Definición (HDTV) analógica. Los parámetros principales de este nuevo sistema eran; 1125 líneas/ 60 Hz, un ancho de banda en luminancia de 30 MHz y 15 MHz para cada una de las señales diferencia de color. La relación de aspecto empleada en un principio era de 5:3.

En el año 1974, el Comité Consultivo Internacional de Radio (CCIR), organismo dependiente de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), nombró en Europa una comisión denominada Grupo 11. Este tenía la misión de elaborar un estándar de HDTV. Varios subgrupos de trabajo conformaban este grupo, donde cada uno de ellos tenía asignadas distintas tareas. Una de las comisiones debía efectuar el estudio para implementar la norma de HDTV, otra comisión debía encargarse de elaborar las normas de Televisión Digital y así sucesivamente.

En el año 1977 en E.E.U.U., la Sociedad de Ingenieros de Televisión para Imágenes en Movimiento (SMPTE), formó un grupo de trabajo para la elaboración de una norma de HDTV.

Durante el año 1980 este grupo propuso una norma con 1100 líneas, barrido entrelazado y una frecuencia de campo de 60 Hz. En el año 1981, la NHK de Japón comenzaba a efectuar demostraciones por todo el mundo del nuevo sistema de HDTV. Sin embargo, algunos países seguían desarrollando sus propios sistemas.

En el año 1985 el CCIR propuso un estándar único de HDTV. Los parámetros básicos del mismo eran: 1125 líneas, una relación de aspecto de 5:3 y barrido entrelazado 2:1. Sin embargo, Europa no accedió a esta norma, debido a la conversión de frecuencia de 50 a 60 Hz que debían realizar.

Ese mismo año se sometió a estudio del CCIR, un estándar basado en 1125 líneas/60 Hz. En la figura 63 se analizan las características básicas de este estándar, que había sido solicitado por EE.UU., Canadá y Japón, mediante el documento 11.283/3 a esa organización.

Figura 63. Parámetros de barrido del estándar 1125/60, que habían solicitado EE.UU., Canadá y Japón al CCIR en 1985.

SISTEMA 1125/60. DOCUMENTO 11.283/3	
Tipo de barrido utilizado	2:1 (Entrelazado)
Número total de líneas/cuadro	1125
Número total de líneas/campo	562,5
Número de líneas activas/cuadro	1035
Número de cuadros/segundo	30
Número de campos/segundo	60
Frecuencia horizontal	30 x 1125 = 33.750 Hz

Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Televisión de Alta Definición (HDTV), Pág. 204.

En 1986 surgió en Europa el proyecto Eureka. Este, preveía la fabricación de los equipos de estudio y transmisión, para el desarrollo del sistema europeo de HDTV analógica. Este proyecto tenía previsto utilizar MAC (Multiplexación de Componentes Analógicos), para la transmisión directa por satélite.

En 1987 varios países de Europa, mediante el documento 11.297, solicitaron al CCIR un sistema de HDTV. El mismo se basaba en 1250 líneas y barrido progresivo. En la figura 64 se muestran los parámetros básicos de este sistema.

Figura 64. Parámetros de barrido para el sistema 1250/50, solicitado por varios países de Europa al CCIR en 1987.

SISTEMA 1250/50. DOCUMENTO 11.297	
Tipo de barrido utilizado	1:1 (progresivo)
Número total de líneas/campo	1250
Número de líneas activas/campo	1152
Número de campos/segundo	50
Frecuencia horizontal	50 x 1250 = 62.500 Hz

Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Televisión de Alta Definición (HDTV), Pág. 205.

Nótese que en este caso, el tipo de barrido propuesto era 1:1 o sea progresivo.

En 1988 surgió un nuevo proyecto derivado del anterior. Se trataba del proyecto Eureka 256, que estaba orientado a la reducción de información de las altas velocidades binarias, que poseía la señal digital de HDTV.

A fin de facilitar el intercambio internacional de programas, en el año 1994 el SMPTE propuso un estándar único en el mundo. Este preveía utilizar 1080 líneas activas con barrido entrelazado ó progresivo. Esta propuesta se muestra en la figura 65.

Figura 65. Estándar único propuesto por el SMPTE en 1994.

SISTEMA 1080/50* – 1080/60*	
Tipo de barrido utilizado	2:1 (Entrelazado)
Número total de líneas/cuadro	1125
Número total de líneas/campo	562,5
Número de líneas activas/cuadro	1080
Número de cuadros/segundo	25/29,97/30
Número de campos/segundo	50/59,94/60
Frecuencia horizontal	25 x 1125 = 28.125 Hz 29,97 x 1125 = 33.716,25 Hz 30 x 1125 = 33.750 Hz
*NOTA: Esta propuesta también contemplaba barrido 1:1 (progresivo). Por simplicidad, solo se indican los parámetros para barrido entrelazado.	

Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Televisión de Alta Definición (HDTV), Pág. 206.

3.2 Valores teóricos relativos a un estándar de HDTV

3.2.1 Detalles de temporización de campo para 1250/50/2:1

En la tabla XII se muestran los parámetros principales de la Recomendación UIT-R BT.709-2 del año 1995. Estos parámetros corresponden al sistema 1250/50/2:1.

Tabla XII. Detalles de temporización de campo para el sistema 1250/50/2:1.

Item	Parámetro	Valor/Descripción
1	Número total de líneas/cuadro.	1250
2	Número total de líneas/campo	625
3	Líneas activas/cuadro.	1152
4	Líneas activas/campo.	576
5	Referencia de cuadro Ov.	OH en la línea 1.
6	Indicación de cuadro.	Línea 1250
7	Indicación de campo.	Línea 625
8	Líneas activas en el campo 1.	Líneas 45...620 inclusive.
9	Líneas activas en el campo 2.	Líneas 670...1245 inclusive.
10	Supresión de campo.	~ Líneas 1246...44

3.2.2 La relación de aspecto 16:9

La relación de aspecto 16:9 surge con el desarrollo de la Televisión de Alta Definición. Esta relación le da a la imagen una mayor realidad de presencia.

En la figura 66 podemos observar los distintos tamaños de pantallas utilizados en cine y en televisión. En este caso, vemos que la relación de aspecto 16:9 utilizada en HDTV, se asemeja a la relación utilizada en el cine de pantalla ancha.

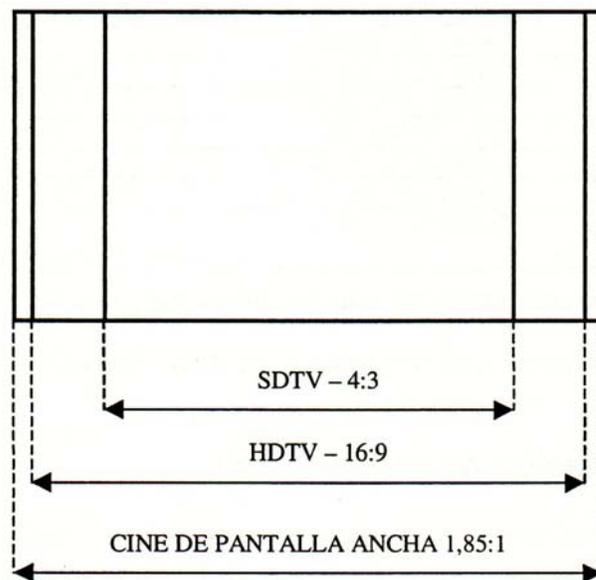
No olvidemos que hoy día, la relación 16:9 también se utiliza en Televisión Digital Estándar (SDTV).

La señal digital SDI de 270 Mbps, es una señal con una estructura 4:2:2/10 bits, con una frecuencia de muestreo del canal de luminancia de 13,5 MHz y una frecuencia de muestreo de cada una de las señales diferencia de color de 6,75 MHz. Esta señal puede tener una relación de aspecto de 4:3 ó de 16:9.

Sin embargo, la verdadera relación 16:9 en Televisión Digital Estándar, corresponde a una señal de 360 Mbps/4:2:2. En este caso, la señal de luminancia (Y) es muestreada a 18 MHz y cada una de las señales diferencia de color (Cb y Cr), son muestreadas a 9 MHz cada una.

La relación de aspecto de 16:9 fue elegida por ser compatible con formatos existentes en el cine, además de mantener una relación cuadrática con el formato 4:3.

Figura 66. Comparación de las distintas relaciones de aspecto de pantalla de 4:3 y 16:9, con el cine de pantalla ancha.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Televisión de Alta Definición (HDTV), Pág. 208.

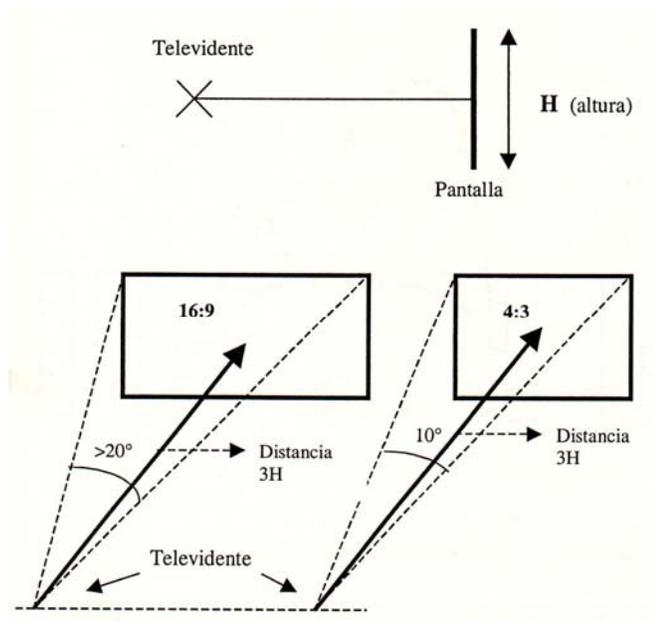
Con la relación de aspecto 16:9 se incrementa el ángulo de visión horizontal.

El CCIR había determinado que con un ángulo de visión horizontal de 20° o más, la imagen es más envolvente y tiene mayor realidad de presencia.

Además, se determinó que la distancia óptima de observación a la pantalla, teniendo en cuenta el efecto mareo es de $3H$, siendo H la altura de la misma. Para una pantalla con una relación 4:3 y a una distancia de observación de $3H$, el ángulo de visión horizontal es de 10° . A esa misma distancia, si se cambia la relación de aspecto de la pantalla a 16:9, el ángulo de visión pasa a ser mayor a 20° .

En la figura 67 se representan ambas relaciones de aspecto y el ángulo de visión horizontal, para un televidente ubicado a una distancia de $3H$ de la pantalla.

Figura 67. Ángulo de visión horizontal para pantallas de 4:3 y 16:9.



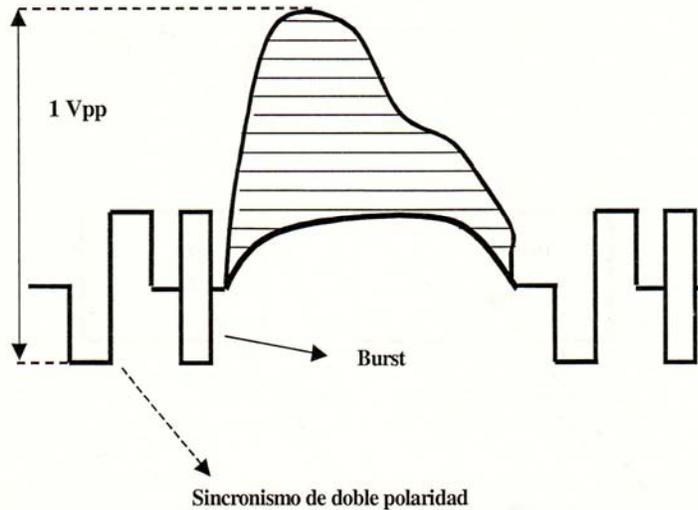
Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Televisión de Alta Definición (HDTV), Pág. 209.

3.2.3 La señal de video compuesta en HDTV analógica

La señal de video compuesta de HDTV analógica es prácticamente igual en su conformación, a la señal de video de la televisión convencional. La única diferencia reside en el pulso de sincronismo horizontal, que es de doble polaridad.

En la figura 68 se muestra la señal de video compuesta de HDTV, con el sincronismo de doble polaridad.

Figura 68. Señal de video compuesta de HDTV analógica, con el pulso de sincronismo de doble polaridad



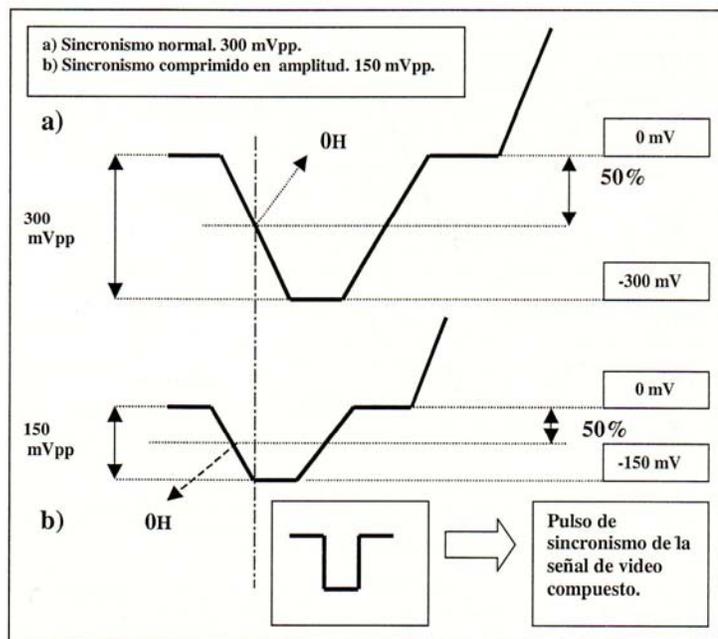
Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Televisión de Alta Definición (HDTV), Pág. 210.

En la figura 69 se analiza un ejemplo del corrimiento del pulso de sincronismo, cuando disminuye o se comprime por cualquier causa la amplitud de la señal.

En la parte a) de la figura, se muestra un pulso de sincronismo normal de 300 mVpp de amplitud. En este caso, el punto de referencia OH coincide con el punto medio del flanco de bajada.

En la parte b) de la misma figura, se muestra a manera de ejemplo, una disminución de la amplitud de la señal. Como consecuencia de esto, se produce una compresión en el pulso de sincronismo, que ha sido disminuido en su amplitud por cualquier causa. Supongamos que este pulso tiene ahora una amplitud de 150 mVpp. En este caso, el punto OH queda desplazado de su valor original.

Figura 69. Corrimiento del punto OH, como consecuencia de la compresión de la amplitud del pulso de sincronismo.



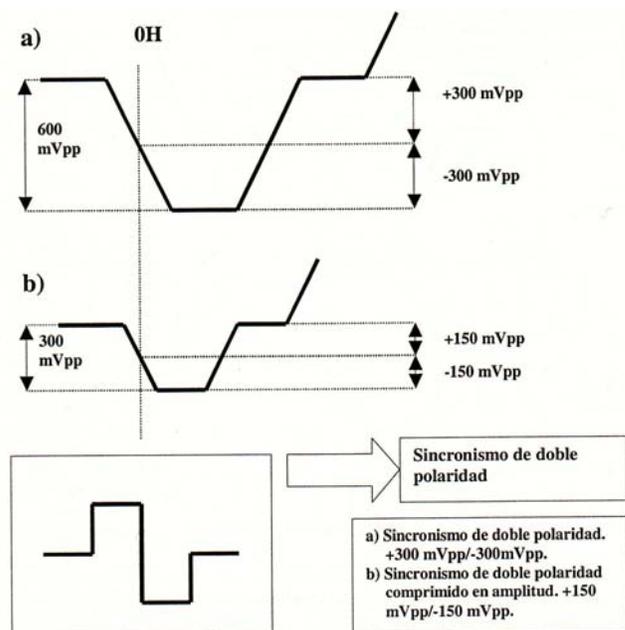
Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Televisión de Alta Definición (HDTV), Pág. 211.

Para evitar este problema, en HDTV analógica se implementó el pulso de sincronismo de doble polaridad. La parte positiva de la señal no afecta en absoluto la sincronización horizontal.

En la figura 70 se muestra este pulso de sincronismo. En la parte a) de la figura, el pulso tiene una amplitud hacia arriba de + 300 mVpp y una amplitud hacia abajo de -300 mVpp. En la parte b) de la misma figura, se muestra a manera de ejemplo un pulso, cuya amplitud ha disminuido a la mitad o sea +150 mVpp hacia arriba y -150 mVpp hacia abajo.

Aquí, podemos apreciar que el punto medio del flanco de bajada OH no tiene corrimiento. Esto es debido a que la señal es simétrica o de doble polaridad.

Figura 70. Pulso de sincronismo de doble polaridad de la señal de HDTV analógica.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Televisión de Alta Definición (HDTV), Pág. 212.

3.2.4 Estándares 1250/50 y 1125/60.

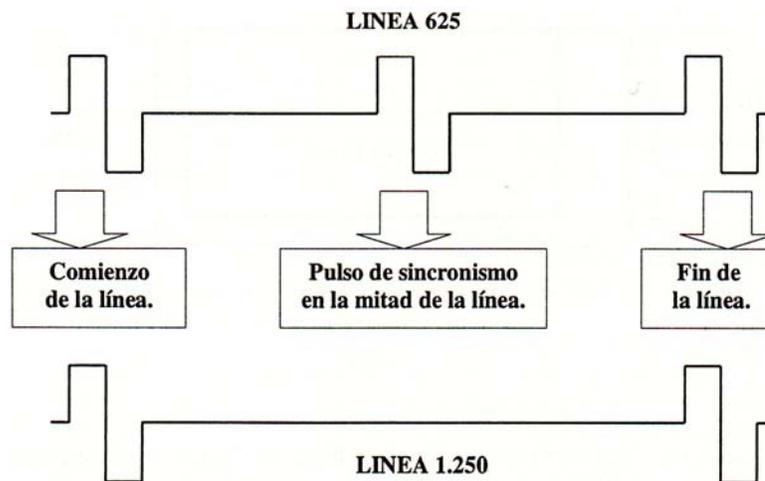
Desde que comenzó la televisión de Alta Definición analógica existen dos estándares. El primero de ellos fue propuesto y desarrollado en Europa en 1250/50 y el segundo fue desarrollado en EE.UU en 1125/60.

Ambos estándares, tienen en común el aumento del número de líneas de barrido, la relación de aspecto 16:9 y el barrido entrelazado.

En la figura 71 se representan dos líneas de barrido en el estándar 1250/50. La primera línea es la 625 y la segunda línea es la 1250.

Para poder efectuar el entrelazado, en la mitad de la línea 625 se inserta un pulso de sincronismo. De esta manera, el primer campo finaliza en la mitad de la línea 625 y el segundo campo comienza en la mitad de dicha línea.

Figura 71. Líneas 625 y 1250 en el estándar 1250/50, con barrido entrelazado.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Televisión de Alta Definición (HDTV), Pág. 213.

3.3 Radiodifusión de señales de HDTV

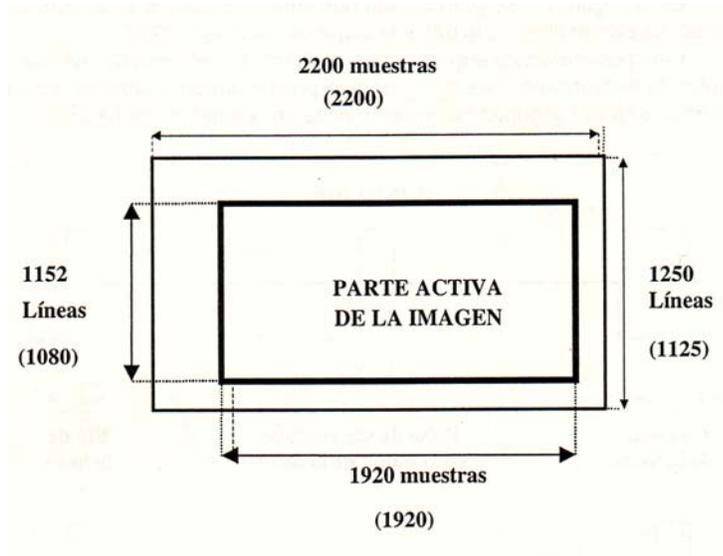
3.3.1 Digitalización de la señal de HDTV

La digitalización de la señal de HDTV, es efectuada de la misma manera que la digitalización de la señal de televisión convencional.

Veremos a continuación, las diferencias que se producen en la digitalización de la señal de HDTV. En la figura 71 se analiza la parte total y la parte activa de la imagen, para los estándares 1250/50 y 1125/60.

El análisis que efectuaremos, corresponde al estándar 1250/50. Se indican entre paréntesis los valores para 1125/60.

Figura 72. Cantidad de muestras por línea total y por línea activa en el estándar 1250/50. Entre paréntesis figuran los parámetros para 1125/60.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Televisión de Alta Definición (HDTV), Pág. 214.

En la digitalización, se muestrean 2200 muestras por línea total o completa (parte activa de la línea más el retrazado), correspondiendo 1920 muestras por línea activa, para un total de 1152 líneas activas.

3.3.2 Formatos de HDTV

Hemos visto que la frecuencia de muestreo debe cumplir con el teorema de Nyquist y además debe ser un múltiplo entero de 2,25 MHz. Este concepto viene de Televisión Digital Estándar, donde esta frecuencia es el mínimo múltiplo entero común para las frecuencias de barrido de 625/50 y 525/60. En este caso, la frecuencia de muestreo de luminancia de 13,5 MHz es común para ambos estándares o sea $6 \times 2,25 = 13,5$ MHz.

El mismo criterio, se siguió para la elección de la frecuencia de muestreo utilizada en la digitalización de la señal de HDTV. Para el estándar 1250/50 se eligió la frecuencia de muestreo de 72 MHz, que es 32 veces la frecuencia de 2,25 MHz.

En los estándares 1250/50 y 1125/60, con una estructura 4:2:2, se muestrean 1920 muestras por línea activa de luminancia y 960 muestras por línea activa de cada una de las señales diferencia de color Cb y Cr.

De esta forma, en 4:2:2 se muestrean 3840 muestras por cada línea activa, de las cuales resulta de sumar (1920+960+960).

En 1080 líneas activas que corresponden a un cuadro, se muestrean 4.147.200 muestras entre las de luminancia y de las señales diferencia de color Cb y Cr. A este formato de barrido se lo denomina 1920 x 1080. Aquí, de acuerdo a lo visto, se muestrean 1920 muestras por línea activa por 1080 líneas activas.

Los parámetros de este formato para 60 Hz están especificados en el estándar SMPTE 274M, mientras que los parámetros para 50 Hz están especificados en el estándar SMPTE 295M. A este formato se lo denomina 1080i o sea 1080 líneas activas con barrido entrelazado.

Un segundo formato de HDTV es el 1280 x 720 con barrido progresivo. Este corresponde a 1280 muestras por línea activa por 720 líneas activas. A este formato se lo denomina 720p o sea 720 líneas activas con barrido progresivo. Los parámetros del mismo están especificados en el estándar SMPTE 296M.

3.3.3 Digitalización de la señal. Parámetros para 1125/60/2:1 y 1250/50/2:1 en la estructura 4:2:2

En la tabla XIII se muestran los parámetros principales de la codificación digital, para los estándares 1125/60 y 1250/50.

Existen algunas diferencias entre ambos estándares, en lo que respecta a la frecuencia de muestreo de la señal de luminancia y de las señales diferencia de color. Para la señal de luminancia, en el estándar 1125/60 este valor es de 74,25 MHz, mientras que en 1250/50, este valor es de 72 MHz.

Como la estructura de muestreo para ambos estándares es 4:2:2, la frecuencia de muestreo de cada una de las señales diferencia de color, será la mitad de la de luminancia, siendo en este caso también distintas en ambos estándares. También, existe una ligera diferencia en el número de muestras de luminancia y de cada una de las señales diferencia de color, por línea total o completa.

Tabla XIII. Parámetros de la codificación digital para 1125/60 y 1250/50.

Parámetros	1125/60	1250/50
	Estas señales se obtienen a partir de las señales con pre corrección de gamma, es decir E'y, E'r-E'y, E'b-E'y ó E'r, E'g, E'b. (1).	
1- Señales codificadas, R, G, B y/o Y, Cb, Cr.		
2 - Reticula de muestreo R, G, B, Y.	Ortogonal, repetitiva en c/línea y en c/campo.	
3 - Señales de retícula de muestreo Cb y Cr.	Ortogonal, repetitiva en cada línea y	
4 - Frecuencia de muestreo de Y. (2).	74,25 MHz +/- 10 x 10E-6	72 MHz +/- 10 x 10E-6
5 - Frecuencia de muestreo de Cr, Cb. (2).	37,125 MHz +/- 10 x 10E-6	36 MHz +/- 10 x 10E-6
6 - Número de muestras por línea. - R, G, B, Y - Cr, Cb	2200 1100	2304 1152
7 - Número de muestras activas por línea. - R, G, B, Y - Cr, Cb	1920 960	
8 - Posición de los primeros instantes de muestreo activo de las señales Y, Cr, Cb con respecto a la referencia temporal de sincronización analógica OH.	192T (T = 1/74,25 MHz = 13,468 ns)	256T (T = 1/72 MHz = 13,889 nseg.
9 - Formato de codificación.	MIC con cuantificación uniforme para cada una de las señales componentes del video. 8 ó 10 bits por muestra.	
10 -Asignación del nivel de cuantificación.(3). Datos de video Referencias de temporización.	Codificación de 8 bits 1,00 a 254,75 0,00 y 255,75	
11 - Niveles de cuantificación. (4). Nivel de negro R, G, B, Y. Nivel medio Cb, Cr. Valor de cresta nominal. R, G, B, Y. Valor de cresta nominal. Cb, Cr.	16 128 235 16 y 240	

Notas acerca de la tabla XIV:

- (1). Se supone que los valores de E'r-E'y y E'b-E'y se vuelven a normalizar.
- (2). El reloj o clock de muestreo debe sincronizarse a la frecuencia de línea.

(3). Para disminuir la confusión cuando se utilizan conjuntamente sistemas de 8 y 10 bits, los dos bits menos significativos en el sistema de 10 bits se consideran dos bits fraccionarios. La escala de cuantificación en un sistema de 8 bits va de 0 a 255 en pasos de 1 y en un sistema de 10 bits va de 0,00 a 255,75 en pasos de 0,25.

(4). Estos niveles se refieren a niveles de video nominales concretos. El proceso de la señal puede provocar a veces una desviación del nivel de la señal fuera de estos márgenes.

Otra diferencia que existe entre ambos estándares, se presenta en los períodos del muestreo activo de las señales de luminancia y de las señales diferencia de color, con respecto a la referencia temporal de sincronización analógica OH.

3.3.4 Cálculo de la velocidad binaria

Haremos ahora, el cálculo de la velocidad binaria para el formato 1080i en 60 Hz, para 4:2:2/10 bits. Este cálculo, lo podemos efectuar de dos maneras;

En primera instancia y como se había visto en el Capítulo 2, a partir de la frecuencia de muestreo, se puede calcular la velocidad binaria mediante la fórmula:

Velocidad binaria en Mbps = (Frec. de muestreo de Y + Frec. de muestreo de Cb + Frec. de muestreo de Cr) x N° de bits x muestra. Aplicando esta fórmula tenemos:

Veloc. Binaria en Mbps = (74,25 + 37,125 + 37,125) x 10 = 1.485 Mbps = 1,485 Gbps.

Esta es la velocidad binaria de una señal digital de HDTV en Estudio, sin comprimir. Esta señal, corresponde a un formato 1080i o sea 1080 líneas activas con barrido entrelazado.

3.3.5 Niveles de cuantificación para 8 y 10 bits

Los niveles de cuantificación, empleados en la señal de HDTV para 1250/50 y 1125/60, son los mismos que los utilizados para una señal de SDTV.

En la tabla XIV se muestran los niveles de cuantificación de luminancia y de las señales diferencia de color Cb y Cr, para una señal de HDTV.

Tabla XIV. Niveles de cuantificación en HDTV para 8 y 10 bits.

Parámetro	8 bits	10 bits
Total de niveles	256	1024
Nivel de negro de Y	16	64
Nivel máximo de blanco de Y	235	940
Nivel de cero para Cr y Cb	128	512
Nivel mínimo de pico de Cb y Cr	16	64
Nivel máximo de pico de Cb y Cr	240	940

Al igual que en Televisión Digital Estándar, en HDTV digital se emplea una estructura de muestreo 4:2:2, con una cuantificación de 10 bits por muestra de resolución.

3.4 Generalidades del sistema HDTV

La Norma de Televisión Digital describe un sistema designado para transmitir audio y video de alta calidad y datos auxiliares sobre un canal único de 6 MHz. El sistema puede procesar confiablemente unos 10 Mbps de datos en un canal de transmisión terrestre de 6 MHz, y unos 38 Mbps en un canal de cable del mismo ancho de banda.

Esto significa que codificar una fuente de video cuya resolución puede superar en cinco veces la de la televisión convencional (NTSC) requiere una reducción del régimen de bits por un factor de 50 o superior. Para lograrlo, el sistema se diseña para usar eficientemente la capacidad del canal disponible, explotando tecnologías complejas de compresión de audio y video.

El objetivo es maximizar la información transmitida por el canal de datos minimizando la cantidad de datos requeridos para representar la secuencia de imagen de video y su audio. El objetivo es representar las fuentes de video, audio y datos con tan pocos bits como sea posible, preservando a la vez el nivel de calidad requerido por la aplicación.

Aunque los subsistemas de RF/Transmisión de descritos en la Norma de Televisión Digital se diseñaron específicamente para aplicaciones terrestres y por cable, el objetivo es que los subsistemas de video, audio y transporte sean útiles en otras aplicaciones.

Diagrama en bloques del sistema

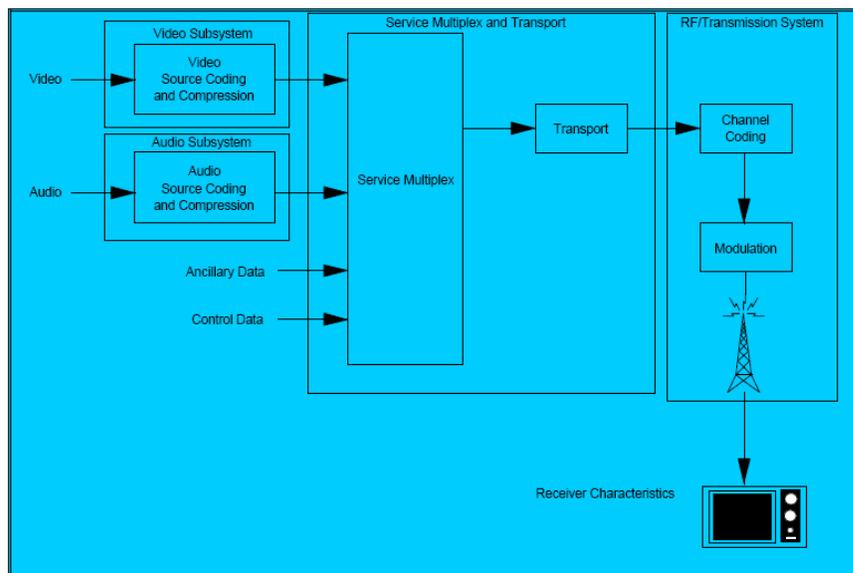
Una representación básica en bloques del sistema se muestra en la figura 72. Esta representación se basa en una adoptada por la Union Internacional de Telecomunicaciones, Sector de Radiocomunicación (ITU-R), Grupo de Tareas 11/3 (Difusión Terrestre de Televisión Digital). Según este modelo, el sistema digital de televisión puede verse como tres subsistemas:

- Codificación y compresión de la fuente
- Multiplex de servicio y transporte
- RF/Transmisión

Codificación y compresión de la fuente se refiere a los métodos de reducción de régimen de bits, también conocidos como compresión de datos, adecuados para los

flujos de datos de video, audio y auxiliares. El termino datos auxiliares incluye los datos de control, datos de control de acceso condicional, y datos vinculados a los servicios de video y audio del programa, tales como el subtítulado. Los datos auxiliares también pueden ser servicios de programación independientes. El propósito del codificador es minimizar el número de bits necesarios para representar la información de audio y video. El sistema de televisión digital emplea la sintaxis de video MPEG-2 para codificar video y la norma de Digital Audio Compression (AC-3) para la codificación del audio.

Figura 73. Modelo de teledifusión terrestre según la ITU-R



Fuente: http://www.atsc.org/standards/a_53-Part-1-2007.pdf

Multiplex de servicio y transporte se refiere los modos de dividir el flujo digital de datos en paquetes de información, los métodos para identificar inequívocamente cada paquete o tipo de paquete, y los métodos apropiados para multiplexar los paquetes de video, audio y auxiliares en un único flujo de datos. Al desarrollar el mecanismo de transporte, se considero primariamente la interoperatividad entre los medios digitales, tales como la teledifusión terrestre, distribución por cable, por satélite, grabaciones e

interfaces con computadoras. El sistema de televisión digital usa la sintaxis de transporte MPEG-2 para empaquetar y multiplexar el video, audio y datos auxiliares para su difusión. La sintaxis de transporte MPEG-2 fue desarrollada para aplicaciones en que esta limitada la capacidad del canal de transmisión o grabación y se requiere un eficiente mecanismo de transporte. También se la diseño para facilitar la interoperatividad con el sistema de transporte ATM.

RF/transmisión se refiere a la codificación en el canal y la modulación. El codificador del canal toma el flujo de datos y añade información adicional que puede usarse en el receptor para reconstruir los datos a partir de la señal recibida que, por degradaciones de la transmisión, puede no representar precisamente la señal original. La modulación (o capa física) usa el flujo digital de información para modular la señal transmitida. El subsistema de modulación ofrece dos modos: un modo de transmisión terrestre (8-VSB) y un modo de alto régimen de datos (16-VSB).

4. ESTANDAR ATSC, ASPECTOS REGULATORIOS EN GUATEMALA

4.1 Legislación y normatividad

La legislación respecto a la televisión en Guatemala se basa en la Ley de Radiocomunicaciones y la Ley General de Telecomunicaciones. Las cuales describen las regulaciones de los servicios de radiocomunicaciones, que se encuentra en dominio del Estado por medio del Ministerio de Comunicaciones y obras públicas y la Dirección General de Radiodifusión. Respecto a la Ley General de Telecomunicaciones el órgano o el ente regulador en Guatemala es la Superintendencia de Telecomunicaciones, el cual rige todo cual es el espectro radioeléctrico en nuestro país.

A continuación observamos algunos artículos de la Ley General de Telecomunicaciones, los cuales fueron seleccionados por su influencia en el tema de la radiodifusión.

4.1.1 Disposiciones Generales

ARTÍCULO 1. **Ámbito de aplicación.** El objeto de esta ley es establecer un marco legal para desarrollar actividades de telecomunicaciones y normar el aprovechamiento y la explotación del espectro radioeléctrico, con la finalidad de apoyar y promover el desarrollo eficiente de las telecomunicaciones, estimular las inversiones en el sector; fomentar la competencia entre los diferentes prestadores de servicios de telecomunicaciones; proteger los derechos de los usuarios y de las empresas proveedoras de servicios de telecomunicaciones, y apoyar el uso racional y eficiente del espectro radioeléctrico

ARTÍCULO 2. Sujetos. La presente ley es aplicable a todos los usuarios y usufructuarios del espectro radioeléctrico, así como a todas las personas que operan y/o comercializan servicios de telecomunicaciones en el territorio nacional, sean estas individuales o jurídicas, nacionales o extranjeras, con participación privada, mixta o estatal, independientemente de su grado de autonomía y de su régimen de constitución.

En la presente ley, se denomina operador a toda persona, individual o jurídica que posee y administra una red de telecomunicaciones.

ARTÍCULO 3. Términos técnicos. Para efectos de interpretación y aplicación de la presente ley, los términos técnicos en materia de telecomunicaciones tendrán los significados reconocidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

ARTÍCULO 4. Computo de plazos. Los plazos computados en días, estipulados en esta ley, comprenderán únicamente los días hábiles y serán perentorios e improrrogables.

4.1.2 Espectro radioeléctrico, bandas de frecuencias reguladas

ARTÍCULO 54. Título de usufructo. El aprovechamiento de las bandas de frecuencias reguladas será asignado mediante títulos que representan el derecho de usufructo.

ARTÍCULO 55. Naturaleza del derecho de usufructo. El derecho de usufructo de frecuencias otorgado por la Superintendencia para el aprovechamiento de las bandas de frecuencias reguladas, podrá ser arrendado y/o enajenado total o parcialmente.

Cualquier enajenación de los derechos de usufructo, deberá ser inscrita en el Registro de Telecomunicaciones de conformidad con lo prescrito en esta ley.

En cualquier caso, los titulares de los derechos de usufructo del espectro serán responsables por las violaciones que surjan en la explotación de los mismos.

ARTÍCULO 56. Características de los títulos de usufructo. Los títulos de usufructo serán nominativos y podrán negociarse, total o parcialmente, durante la vigencia de los mismos, tal y como se estipula en el artículo 58. Su transferencia se efectuará mediante endoso e inscripción correspondiente en el Registro de Telecomunicaciones. A los títulos que representan los derechos de usufructo del espectro radioeléctrico, le serán aplicables, en lo pertinente y de acuerdo con la naturaleza de los derechos de usufructo, las normas generales de los títulos nominativos.

ARTÍCULO 57. Contenido de los títulos de usufructo de frecuencias. El título que representa el derecho de usufructo, deberá contener lo siguiente:

- a) Banda o rango de frecuencias, indicando:
 - Horario de operación
 - Área geográfica de influencia
 - Potencia máxima efectiva de radiación
- Máxima intensidad de campo eléctrico o potencia máxima admisible en el contorno del área de cobertura.
- b) Número de orden y de registro del título;
- c) Fecha de emisión y vencimiento del título;
- d) Nombre del titular;
- e) Espacio en blanco para endosos o razones.

La impresión de los títulos de usufructo de frecuencias estará a cargo de la Superintendencia. Estos deberán ser impresos en papel de seguridad de alta calidad.

La enajenación parcial de los derechos de usufructo de un titular, requerirá la emisión del nuevo título, tanto para él como para el adquirente, así como la cancelación del título anterior.

ARTÍCULO 58. Plazo de usufructo. Los derechos de usufructo del espectro radioeléctrico serán otorgados de conformidad con esta ley por un plazo de quince (15) años, el cual podrá prorrogarse a solicitud del titular por períodos iguales.

ARTÍCULO 59. Prórroga del plazo del usufructo. La solicitud de prórroga del plazo del derecho de usufructo deberá ser presentada entre los doscientos (200) y ciento veinte (120) días anteriores al vencimiento del plazo que esté corriendo. La Superintendencia deberá prorrogar el plazo a menos que tenga evidencia proporcionada por una entidad acreditada para la supervisión del espectro, de que el mismo no fue utilizado en absoluto durante el período en que el titular ejerció el derecho de usufructo.

ARTÍCULO 60. Otras disposiciones. En relación con los derechos de usufructo de las bandas del espectro radioeléctrico, serán aplicables también las siguientes normas:

- a) De acuerdo al registro, el titular de los derechos de usufructo será el único responsable por cualquier acto derivado del ejercicio de su derecho.
- b) El usufructuario no estará obligado a prestar garantía alguna por el ejercicio de sus derechos.

ARTÍCULO 61. Concurso público. Para la adjudicación de títulos de usufructo de frecuencias, cualquier persona interesada, individual o jurídica, nacional o extranjera, o cualquier entidad estatal, presentará ante la Superintendencia una solicitud detallando en ella las bandas de frecuencias y las características indicadas en la literal a) del artículo 57.

La Superintendencia emitirá una resolución admitiendo o no para su trámite la solicitud. Dicha resolución deberá ser emitida y notificada en un plazo no mayor de tres (3) días, contados a partir del día en que la solicitud haya sido presentada. En caso se resuelva favorablemente, la Superintendencia deberá publicar la solicitud.

La Superintendencia únicamente podrá denegar el trámite a las solicitudes de las bandas de frecuencias que, de conformidad con los avances tecnológicos del momento sean imposibles de definir en las condiciones sugeridas por el solicitante, aquellas cuya admisión vulneraría los acuerdos, tratados y convenios internacionales sobre la materia ratificados por el Gobierno de Guatemala, o aquellas que se refieran a bandas de frecuencias que hayan sido previamente otorgadas a otros, bandas de frecuencias reservadas o bandas de frecuencias para radioaficionados.

Podrán oponerse al otorgamiento del título de usufructo sobre las bandas de frecuencias solicitadas aquellas personas individuales o jurídicas que tengan un interés fundado y legítimo, y que puedan resultar perjudicadas si el otorgamiento se realiza.

Así mismo, otras personas podrán manifestar su interés por adquirir parcial o totalmente la misma banda o bandas de frecuencias solicitadas.

Cualquier oposición o interés de terceros deberá ser planteado ante la Superintendencia dentro de los cinco (5) días siguientes de vencerse el período de publicaciones de conformidad con el artículo 21. En caso de que no exista oposición ni terceros interesados, la Superintendencia otorgará directamente el derecho de usufructo de la banda solicitada, ordenando su inscripción en el Registro de Telecomunicaciones.

Si hubiera oposición, la Superintendencia tendrá diez (10) días para resolverla. Si se declara con lugar la oposición, se dará por concluido el proceso de concurso público.

Por el contrario, si declara sin lugar la oposición y no existen otros interesados se le otorgará al interesado, sin más trámite, el derecho de usufructo sobre la banda solicitada. Si hubiera otros interesados, transcurridos quince (15) días a partir de la fecha de vencimiento del plazo de oposición o de rechazada cualquier oposición planteada, la Superintendencia invitará a los interesados a participar en una subasta pública de la banda solicitada, pudiendo fraccionarla, siempre que considere que lo mismo es necesario para promover la competencia en el mercado de telecomunicaciones.

La subasta deberá realizarse dentro de los veinte (20) días siguientes a la fecha en que se hizo la invitación a participar en la misma, de conformidad con el párrafo anterior, salvo cuando la banda solicitada haya sido fraccionada, en cuyo caso dicho plazo podrá prorrogarse hasta por un máximo de veinte (20) días.

ARTÍCULO 62. Subasta pública. La Superintendencia determinará la forma en que se llevará a cabo cada subasta pública. Todas las ofertas deberán ser presentadas en plica cerrada, incluyendo una fianza de cumplimiento equivalente al monto ofertado o cualquier otra forma de garantía que la Superintendencia determine. Las subastas podrán tener una o varias rondas, dependiendo de la modalidad que la Superintendencia emplee. En caso de que la Superintendencia haya decidido fraccionar una banda, la subasta de las fracciones será hecha en forma simultánea con rondas múltiples, debiendo especificar claramente los incrementos mínimos aceptables, así como la forma de finalización de la subasta.

El desarrollo y adjudicación de la subasta serán supervisados por una firma de auditores externos de reconocida reputación. La banda de frecuencias siempre se adjudicará a la persona que ofrezca el mayor precio.

Contra la adjudicación no cabrá recurso administrativo ni judicial alguno, más que aquellos que se fundamenten en el hecho de que la frecuencia subastada no fue

adjudicada al mejor postor, en cuyo caso se plantearán y resolverán de conformidad con lo establecido en esta ley.

Hecha la adjudicación y contra pago del precio ofrecido en la subasta, la Superintendencia deberá ordenar inmediatamente su inscripción en el Registro de Telecomunicaciones. El pago deberá ser realizado dentro de un plazo de cinco (5) días contados a partir de la fecha de adjudicación.

La Superintendencia deberá emitir y entregar al adjudicatario el título que representa el derecho de usufructo de frecuencias dentro del plazo improrrogable de los diez (10) días siguientes al de la adjudicación. Los titulares de derechos de usufructo deberán inscribirse en el registro antes de empezar a operar.

4.1.3 Recursos contra resoluciones

ARTÍCULO 96. Radiodifusión. En vista de que la Constitución Política de la República y las demás leyes de la materia consideran a los medios de comunicación social, entre los cuales se encuentra la radiodifusión, como servicios de interés público, por ser instrumentos de la libre emisión del pensamiento, desde el momento en que entre en vigencia esta ley, las personas, que de acuerdo con el Decreto Ley 433 sean concesionarias del Estado en la explotación de canales de radiodifusión, pasaran a ser usufructuarios de las mismas bandas del espectro sobre las cuales gozan de la concesión respectiva.

En consecuencia, la Superintendencia deberá proceder a entregar los títulos de usufructo de frecuencias correspondientes, y el plazo original de quince (15) años a que se refiere el artículo 58 de esta ley empezará a correr a partir de la fecha en que entre en vigencia este artículo. Una vez ocurrido lo anterior, las concesiones previas quedarán sin

efecto y todo lo que concierne al uso del espectro deberá sujetarse a lo preceptuado en esta ley.

Las concesiones de bandas de frecuencias obtenidas para el establecimiento de enlaces punto a punto necesarios para el funcionamiento completo de los sistemas de radiodifusión, serán reconocidas también mediante títulos de usufructo de frecuencias, en los cuales se indicará en lugar del área geográfica de influencia, los puntos terminales de dichos enlaces.

En lo que concierne a la regulación de los servicios de radiodifusión en si mismos, los operadores de canales de radiodifusión quedan sujetos a lo prescrito en el Decreto Ley 433 y en las demás leyes aplicables.

ARTÍCULO 97. Ley de Radiocomunicaciones. Como consecuencia de la promulgación de esta ley, el Organismo Ejecutivo deberá presentar al Congreso de la República una iniciativa de ley para adecuar la Ley de Radiocomunicaciones, Decreto Ley 433, a la presente.

4.1.4 Normatividad

En Guatemala todavía no existe una norma establecida por el Estado, a pesar que existe una fuerte inclinación por el Estándar ATSC. Varios organismos estatales y privados presentan estudios y opiniones a cerca de las tres más fuertes normas a nivel mundial, pero las que más pujan son la europea y estadounidense.

Se sabe que se esta emitiendo y transmitiendo de una manera experimental HDTV basándose en el estándar ATSC, con permiso de la Superintendencia de Telecomunicaciones.

La decisión definitiva para que el país de Guatemala acepte una norma será del Estado.

4.2 Tendencias del mercado en TV digital

La televisión digital (DTV) es un nuevo tipo de tecnología de transmisión que va a transformar la televisión. Como la DTV se transmite digitalmente, permite enviar una señal prácticamente sin interferencias. Las estaciones de televisión digital podrán ofrecer una transmisión de imágenes y sonido digital (Dolby) con calidad de cine, junto con varias características mejoradas.

¿Por qué estamos cambiando a la DTV?

La DTV es una tecnología más flexible y eficiente que el sistema analógico actual. En el mismo ancho de banda en que una televisora proporciona un canal de programación analógico, puede proporcionar un programa de "alta definición" (HDTV, por sus siglas en inglés) o varios programas de "definición estándar" simultáneamente. Se llama "multitransmisión" ("multicasting" en inglés) al flujo de varios programas en un solo canal de transmisión. El número de programas que una estación puede enviar en un solo canal digital depende del nivel de detalle de la imagen, también conocido como "resolución" que se desea para cada flujo de programación. Una estación de televisión también puede usar la DTV para proporcionar servicios de interactividad y transmisión de datos que no son posibles de lograr con la tecnología analógica.

La conversión a DTV también libera parte de las ondas de difusión valiosas y escasas, permitiendo que esas porciones de ondas sean utilizadas para otros servicios importantes tal como los servicios inalámbricos avanzados y de seguridad pública (policía, bomberos, cuadrillas de rescate, etc.)

¿Qué es la televisión de alta definición (HDTV por sus siglas en inglés)?

La HDTV es un tipo de servicio de DTV. La HDTV proporciona programación de alta resolución en un formato de pantalla ancha. Una imagen normal de TV analógica está integrada por 480 líneas horizontales y una imagen de HDTV por 1080 líneas que permiten una resolución impresionante de la imagen. El formato de pantalla ancha se refiere a una proporción del aspecto de la imagen, que es una comparación del ancho de la pantalla con la altura de la misma. La televisión analógica tiene una proporción de 4 a 3, lo que significa que la pantalla es 4 unidades de ancho por 3 unidades de alto, mientras que la de la HDTV es de 16 a 9, lo mismo que el ancho de una pantalla de cine. Los programas de la HDTV pueden incluir sonido digital Dolby, que es el mismo sistema de sonido digital que se usa en los cines y en los DVDs.

¿Se necesita un nuevo televisor?

Su televisor seguirá funcionando como ahora hasta que se deje de transmitir la señal analógica. Este servicio analógico continuará hasta que el servicio de DTV y el equipo necesario estén ampliamente disponibles, y aunque esta transmisión se suspenda, su televisor no será obsoleto. Puede usar un convertidor para recibir las señales de DTV y cambiarlas al formato de su televisor. Estos convertidores se venderán en las tiendas comerciales. Sin embargo, aún teniendo un convertidor, su televisor analógico no tendrá la calidad de imagen de una DTV, lo cual solo puede lograr comprando todo el equipo de DTV. Los abonados a los servicios de cable y DBS deben comunicarse con sus proveedores para recibir información en cuanto a los convertidores que se requieren para obtener dichos servicios.

¿Cómo es el equipo de la DTV y cuál es su costo?

La mayoría de los equipos de DTV tienen pantallas más anchas y más rectangulares que los televisores analógicos. Este formato de pantalla ancha permite la obtención de imágenes más anchas que son más parecidas a las imágenes de una pantalla de cine. Al igual que el equipo de TV analógico, puede encontrar diferentes tamaños.

Al igual que con las nuevas tecnologías de equipos electrónicos, los equipos de DTV se están haciendo más asequibles desde que se introdujeron al mercado. Se espera que los precios continúen disminuyendo con el tiempo. Los precios varían en función del tamaño de la pantalla, la tecnología en video y otras características adicionales.

¿Cuál es la diferencia entre un monitor de DTV y una DTV integrada?

Un equipo de DTV integrado se compone de un televisor digital y un decodificador digital o receptor de DTV incorporado. Esto significa que si vive en un área que recibe el servicio de una estación de transmisión de DTV, no necesitará equipo adicional, con excepción de una antena (de preferencia exterior) para recibir la programación remota de la DTV. Estas unidades normalmente son también pueden recibir y mostrar imágenes analógicas.

Por el contrario, un monitor de DTV muestra imágenes digitales pero requiere de un equipo adicional ya que solamente es un dispositivo de visualización similar al monitor de una computadora. Para poder recibir y ver imágenes de la programación remota de la DTV se requiere comprar un decodificador para DTV y conectarlo entre la antena y el monitor. Para poder recibir la programación de la DTV vía satélite o cable requiere un equipo de decodificación adicional.

Debe verificar con el vendedor que el receptor o decodificador para DTV sea compatible con su monitor de DTV. La mayoría de los monitores tienen un receptor analógico incorporado y pueden transmitir la programación regular de la televisión analógica, así como mostrar videos con una resolución estándar de los equipos de DVD y VCRs.

¿Se pueden tener imágenes de HDTV con los monitores de DTV y con la DTV integrada?

Los equipos de DTV con decodificador incorporado y los monitores de DTV no necesariamente muestran la programación en el formato completo de HDTV. Algunos equipos integrados y monitores mostrarán las imágenes de DTV en un "formato de definición estándar" de baja resolución, por eso a pesar de que los equipos tienen etiquetas que los describen como con resolución de HDTV, los consumidores deben verificarlo con el vendedor.

¿Por qué no se puede ofrecer la DTV y conservar el sistema de televisión actual?

El servicio de transmisión televisiva actual debe convertirse por completo a digital. La tecnología de la DTV es más eficiente que la analógica y permitirá al mismo número de televisoras transmitir más programas usando un menor número de ondas de transmisión. La DTV ofrece un uso más eficiente del espectro y ofrecerá a los consumidores más opciones en los servicios.

Tras unos años de revolución tecnológica en el mundo de las telecomunicaciones en general, sin duda, lo que ha permitido comenzar la revolución en el mundo de la televisión ha sido por un lado la viabilidad de la puesta en práctica de las ideas acerca del tratamiento digital de la señal de televisión, y por otra parte, el desarrollo de estándares de codificación y transmisión.

Aplicaciones interactivas en TV

Presentan las siguientes características:

- Requieren una concepción totalmente nueva.
- Nuevas interfaces de usuario con nuevos paradigmas (teclado)
- Principalmente del tipo "push".
- Asociadas en muchos casos a la programación de TV
- Se debe tener muy en cuenta las capacidades gráficas del receptor: baja resolución, entrelazados
- Se suele hacer uso a una distancia muy superior a la de un PC
- Aplicaciones concebidas para ofrecerse a través del TV

Estas aplicaciones pueden ser:

- Guía de programación
- Miniguía
- Guía Radio/Música
- Realización compartida
- Concursos, participación en juegos
- Canal meteorológico
- Canal tráfico
- Descarga software por abono del canal
- Descarga software con pago por paquete
- Telebanca
- Telecompra
- Telecarga monedero
- Acceso Web
- Publicidad sincronizada

- Publicidad personalizada
- Juegos
- Mensajería
- Pago por visión (PPV, IPPV)

4.2.1 Modelos de negocio de la TVD terrestre

Los modelos de negocio de la TVD terrestre corresponden a las alternativas de soporte y de utilización del nuevo sistema televisivo, siendo resultantes de la composición de cestas de servicios, de sistemas tecnológicos subyacentes y de sistemas de ingresos asociados.

4.2.1.1 Cestas de servicios

Las cestas de servicios son el modos de programación, los cuales la diferencia principal es que si el servicio es gratuito o pagado, donde la programación varía dependiendo que desee el usuario, aquí también va ligado los sistemas tecnológicos subyacentes, y no son mas que accesos condicionados, tipos de codificación, sistemas operacionales y modulaciones que servirán para el manejo en la programación tanto gratuita como pagada. A continuación se observara los modos de programación y seguidamente se hará mención de los sistemas de ingresos asociados a cada tipo de programación.

➤ Monoprogramación

Solamente una programación, como ocurre hoy con la TV analógica que ocupa un canal de 6 MHz. Si se usa la alta definición (HD) y el codificador MPEG-2 se ocupa casi todo el canal de frecuencia.

➤ Multicanal

Varias programaciones simultáneas en un único canal de frecuencia, como ocurre hoy con la TV por cable. Pueden originar-se en un único radiodifusor o en diferentes programadores y multiplexadas en un operador de red.

➤ Interactivos

Sin canal de retorno

Con canal de retorno

➤ Embasados en movilidad / portabilidad

4.2.1.2 Sistemas de ingresos

➤ TV abierta

Publicidad y fondos públicos

➤ TV de pago

Pago regular por los abonados

➤ Pago por evento

Pago, con tarjetas prepagas, en función del consumo de contenido.

4.2.1.3 Tecnologías subyacentes

➤ Codificador de Video MPEG-2

Menor costo del receptor

Tecnología madura y confiable

Menor eficiencia de compresión de la señal

➤ Codificador de Video H.264

Mayor eficiencia de compresión de la señal

Esencial para los terminales móviles

Mayor costo del receptor

Tecnología no madura, todavía en fase de lanzamiento comercial en las plataformas satelitales

➤ Codificador de Audio MPEG-2 Layer I

Menor costo del receptor

Tecnología madura y confiable

Menor eficiencia de compresión de la señal

Compatible con el sonido surround a través del MPEG-2 BC, pero este tiene baja aceptación en el mercado

➤ Codificador de Audio Dolby AC-3 y MPEG AAC

Mayor eficiencia de compresión de la señal

Soporte al sonido surround y, en el caso del Dolby AC-3, con alta aceptación en el mercado

Mayor costo del receptor

- Middleware declarativo con scripts

Menos Complejo (costo mas bajo) – necesita menos memoria y menos capacidad de procesamiento

Larga escala da adopción (costo mas bajo)

Facilidad de desarrollo de aplicaciones

Posibilidad de un número menor de funcionalidades

Necesita tiempos mayores de respuesta

- Modulación 8-VSB

Menor consumo de energía (menor costo operacional)

Mayor inmunidad al ruido impulsivo

Dificultad para implementar redes de frecuencia única (SFN)

Necesita de canal de frecuencia adicional para implementar los servicios de movilidad/portabilidad con otro estándar de transmisión (DMB-T, DVB-H o mediaFlo)

- Modulación COFDM

Mejor recepción con antenas internas

Permite la implementación de redes de frecuencia única (SFN)

Permite implementar los servicios de movilidad/portabilidad en el mismo canal de frecuencia del servicio principal o en canal adicional

Consumo mayor de energía en los transmisores

Menor inmunidad al ruido impulsivo

4.3 Normas ATSC

El ATSC ha finalizado un esfuerzo de dos años para actualizar a cabalidad el documento A/54 del ATSC, “La guía para el estándar de televisión digital.”

La revisión, conocida oficialmente como Práctica recomendada A/54A, entrega una visión general y guía informativa global del sistema de televisión digital del ATSC según se define en los estándares A/52A y A/53B.

El documento reúne los elementos clave del sistema de televisión digital del ATSC y explica los conceptos fundamentales en detalle. Como tal, la A/54A es una guía de implementación valiosa para los productores de programas, las estaciones de difusión, los fabricantes de receptores y los proveedores de hardware/software.

Debido al gran alcance de este documento, el trabajo se dividió entre cuatro grupos de especialistas: Codificación de video/audio (T3/S6), Transporte (T3/S8), Transmisión de RF (T3/S9) y Receptores (T3/S10). Jerry Whitaker, del ATSC, se desempeñó como editor general del documento. Esta práctica recomendada se encuentra disponible en www.atsc.org/standards/practices.html.

A continuación se citan las Normas ATSC , prácticas recomendadas y pautas de implementación para apoyar la radiodifusión de TTD en las Américas. Las cuales se encuentran disponibles en la dirección www.ats.org/standards

- Reseña de la normas ATSC y Actividades Relativas a la Normalización (Apéndice 1-1)
- Guía sobre las normas de DTV (Apéndice 1-2)
- Norma ATSC A/52B: Norma de compresión de audio digital (AC-3), Rev. B (Apéndice 1-3)

- Norma ATSC A/53C con la enmienda n° 1: Norma de televisión digital ATSC, Rev. C (Apéndice 1-4)
- Práctica recomendada ATSC A/54A:
- Guía para el uso de la norma de televisión digital ATSC (Apéndice 1-5)
- Norma propuesta aprobada A/57A:
- Identificación del contenido y rotulado para el transporte ATSC (Apéndice 1-6)
- Norma ATSC A/64A: Medición y cumplimiento de la transmisión para televisión digital, Rev. A (Apéndice 1-7)
- Norma ATSC A/65B: Programa y protocolo de información del sistema para la radiodifusión terrenal y por cable, Rev. B (Apéndice 1-8)
- Práctica recomendada ATSC A/69: Programas y pautas de implementación del protocolo de información del sistema para radiodifusores (Apéndice 1-9)
- Norma ATSC A/70A: Sistema de acceso condicional para radiodifusión terrenal, Rev. A (Apéndice 1-10)
- Norma A/76: Norma para el protocolo de comunicación de meta datos de programación (Apéndice 1-11)
- Norma ATSC A/80: Requisitos de modulación y codificación para aplicaciones de TV digital (DTV) por satélite (Apéndice 1-12)
- Norma ATSC A/81: Norma de radiodifusión por satélite de recepción directa a los hogares (Apéndice 1-13)
- Norma ATSC A/90 con enmienda 1 y corrigendos 1 y 2: Norma de radiodifusión de datos (Apéndice 1-14)
- Práctica ATSC recomendada A/91: Pautas de implementación de la norma de radiodifusión de datos (Apéndice 1-15)
- Norma ATSC A/92: Distribución de sesiones de multidifusión IP por la norma de radiodifusión de datos (Apéndice 1-16)
- Norma ATSC A/93: Norma de activación sincrónica/asincrónica (Apéndice 1-17)

- Norma ATSC A/94: Modelo de referencia ATSC de aplicación de datos (Apéndice 1-18)
- Norma ATSC A/95: Norma de sistema de archivo de tren de transporte (Apéndice 1-19)
- Norma ATSC A/96: Protocolos de canales de interacción del ATSC (Apéndice 1-20)
- Norma ATSC A/100: Entorno de programas informáticos de aplicación de DTV - Nivel 1 (DASE-1)
 - A/100-1, DASE-1 Parte 1: Introducción, arquitectura e instalaciones comunes (Apéndice 1-21.1)
 - A/100-2, DASE-1 Parte 2: Entorno de aplicaciones declarativas (Apéndice 1-21.2)
 - A/100-3, DASE-1 Parte 3: Aplicaciones y entorno de procedimiento (Apéndice 1-21.3)
 - A/100-4, DASE-1 Parte 4: Interfaz de programación de aplicaciones (Apéndice 1-21.4)
 - A/100-5, DASE-1 Parte 5: Formato de recursos en archivo ZIP (Apéndice 1-21.5)
 - A/100-6, DASE-1 Parte 6: Seguridad (Apéndice 1-21.6)
 - A/100-7, DASE-1 Parte 7: Sistema de distribución de aplicaciones – vinculación de ARM (Apéndice 1-21.7)
 - A/100-8, DASE-1 Parte 8: Conformidad (Apéndice 1-21.8)
- Norma candidata ATSC CS/T3-606 Revisión A: Enmienda No. 1 a la Norma ATSC: Programa y protocolo de información del sistema para la radiodifusión terrenal y por cable (Doc. A/65B) (Apéndice 1-22)
- Norma candidata ATSC CS/T3-608, Revisión A: Enmienda a la norma de televisión digital ATSC, Doc. A/53C (Versión AVC/H.264) (Apéndice 1-23)
- Norma candidata ATSC CS/T3-609, Revisión A: Enmienda a la norma de televisión digital ATSC, Doc. A/53C (Versión VC-9) (Apéndice 1-24)

- Norma candidata ATSC CS/T3-614 Revisión A: Enmienda a la norma de televisión digital ATSC, Doc. A/53C, Anexo G: Características de los sistemas de audio de alta eficiencia (Apéndice 1-25)
- Norma candidata ATSC CS/101: Plataforma avanzada de aplicaciones comunes (ACAP) (Apéndice 1-26)
- Norma candidata ATSC A/110: Norma de sincronización para la transmisión distribuida (Apéndice 1-27)
- Práctica recomendada ATSC A/111: Diseño de redes de transmisores múltiples sincronizados (Apéndice 1-28)
- Práctica recomendada ATSC A/58: Armonización con DVB SI en el uso de la norma de televisión digital ATSC (Apéndice 1-29)
- Práctica recomendada ATSC A/75: Elaboración de planes para pruebas prácticas de la DTV (Apéndice 1-30)
- Pauta de implementación: consideraciones sobre los metadatos y la distribución de programas de audio de canales múltiples (Pre-emisión) (Apéndice 1-31)
- Pauta de implementación: Optimización del formateo de imagen para la transmisión y la visualización (Apéndice 1-32)
- Pauta de implementación: Temporización relativa de sonido y visión para operaciones de radiodifusión (Apéndice 1-33)
- Evaluación del contenido de datos y distribución para el control del tren de transporte de la radiodifusión digital y la generación PSIP (Apéndice 1-34)
- Pauta de implementación: Informe sobre cuestiones de latencia y temporización (Apéndice 1-35)
- Pauta de implementación: Preguntas frecuentes sobre DTV (Apéndice 1-36)
- Pauta de implementación: Interfaces de transporte y datos DTV (Apéndice 1-37)
- Pauta de implementación: Información esencial a cursarse en trenes de programas de DTV (Apéndice 1-38)

- Pauta de implementación: Requisitos de identificación de intercambio de programas y soluciones (Apéndice 1-39)
- Pauta de implementación: Trenes de bits AC-3 de indicación de tiempo PTS (Apéndice 1-40)
- Pauta de implementación: Implementación de radiodifusión de datos en una estación DTV (Apéndice 1-41)
- Pauta de implementación: Informe sumario descendente (top-down) (Apéndice 1-42)
- ATSC: Preguntas frecuentes
- Tutor ATSC DTV
- Norma ATSC A/97: Servicio de bajada de programas de informática
- Propuesta de normas: Plataforma avanzada de aplicaciones comunes (ACAP)
- Norma candidata ATSC CS/T3-608, Revisión B: Enmienda a la norma de televisión digital ATSC, Doc. A/53C (Versión AVC/H.264)

5. ENFOQUE NACIONAL, IMPLEMENTACIÓN Y APLICACIONES DE DTV

La televisión actual en Guatemala, entre sus características principales tenemos que es de tipo asíncrona, o sea para ver un programa debe coincidir el momento de la transmisión por parte de la emisora y la disposición para verlo de parte del telespectador, inserciones periódicas de comerciales, cuyo momento de emisión lo determina el sistema de transmisión (emisora de TV). Tiene pobre calidad técnica comparada con la Fotografía y el Cine. Emite programación para todos los receptores al mismo tiempo. Ocupa un considerable Ancho de Banda, esto quiere decir un gran espacio radioeléctrico. Es bastante ineficiente en el sentido que transmite gran cantidad de información redundante y aún así no logra tener calidad de imagen,

Utiliza para la recepción aparatos "dedicados". La mayoría de pantallas de los aparatos son curvas. La publicidad emitida llega a "todos" los televidentes, aún a los que no les interesa. Por otro lado la TV actual no es compatible con HDTV. En este trabajo de graduación se ha elegido presentar el estudio apegado hacia la norma ATSC, que es la norma americana, por múltiples aspectos que son más de tipo socioeconómico.

Entre los que se pueden mencionar ejemplos como los siguientes: en la parte socioeconómica vivimos en un país donde muchas familias tienen algún familiar en Estados Unidos y les proveen de tecnología americana. Influencia internacional, si varios países cercanos poseen normalización americana que ya se está dando en centro América, en las partes de frontera se tiene comunicación entre ellas, por lo que tanto en entre países se observan canales. Por influencia tecnológica podremos decir que poseemos una norma analógica americana anterior, pero lo más importante que se está dando en nuestro país es que Radiotelevisión Guatemala está transmitiendo HDTV de forma experimental, con norma americana.

Por lo tanto la tendencia que se observa en nuestro país para elegir una norma es la americana, a continuación se presentaran ejemplos apegados a la norma americana que llevara a reconocer diferentes puntos para su comparación de la actual infraestructura y el grado de implementación necesario en una emisora de televisión guatemalteca.

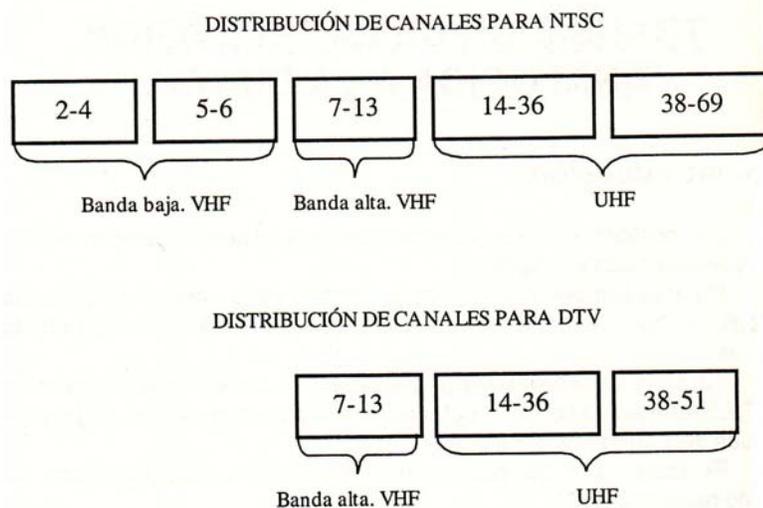
5.1 Implementación de HDTV

5.1.1 Criterio de asignación de frecuencias para DTV en EE.UU.

Consideraremos a manera de ejemplo, el criterio seguido en EE.UU. para la asignación de canales para DTV (Digital Television).

En la figura 74, se muestran los canales de televisión actuales utilizados para NTSC y la nueva asignación para DTV.

Figura 74. Distribución de canales en NTSC y DTV en EE.UU.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Transición de la Televisión Analógica a la Digital, Pág. 420.

El espectro que abarcan los canales de aire analógicos en la actualidad, comprenden la banda baja de VHF (canales 2 al 6), la banda alta de VHF (canales 7 al 13) y la banda de UHF (canales 14 al 36 y 38 al 69). El canal 37 no es utilizado para televisión. Cada canal tiene un espectro de 6 MHz de ancho de banda.

Para Televisión Digital (DTV), se han asignado los canales de la banda alta (7 al 13) y los canales de UHF (14 al 36 y 38 al 51). El espectro para DTV es más reducido que el de televisión analógica, pues se han tenido en cuenta algunos criterios para su asignación.

La banda baja de VHF (canales 2 al 6) no se ha adoptado para DTV. El criterio empleado es que en esta banda se producen las mayores interferencias, especialmente en canal 2. Además, los canales 3 y 4 utilizados por los Conversores de Sistemas de Cable y video caseteras, pueden interferir con los nuevos canales de DTV.

Para Televisión Digital, el espectro comienza en la banda alta de VHF (canales 7 al 13). La banda de UHF se asignó parcialmente del canal 14 al 36. El canal 37 sigue siendo utilizado para comunicaciones. Otra parte de la banda de UHF asignada, comprende los canales 38 al 51. La porción de banda comprendida entre los canales 52 al 69 no se asignó para DTV. Una de las razones, es que solo un 10% de las estaciones actuales, tiene asignados esos canales para NTSC y la segunda razón es que se le dará otro uso en el futuro.

5.1.2 Asignación de frecuencias para DTV en EE.UU.

La asignación de frecuencias de DTV en EE.UU., realizada por el FCC (Federal Commission of Communications), ha sido la siguiente; a cada Broadcaster que tenía su frecuencia para transmisión de televisión analógica, se le asignó una nueva frecuencia para DTV.

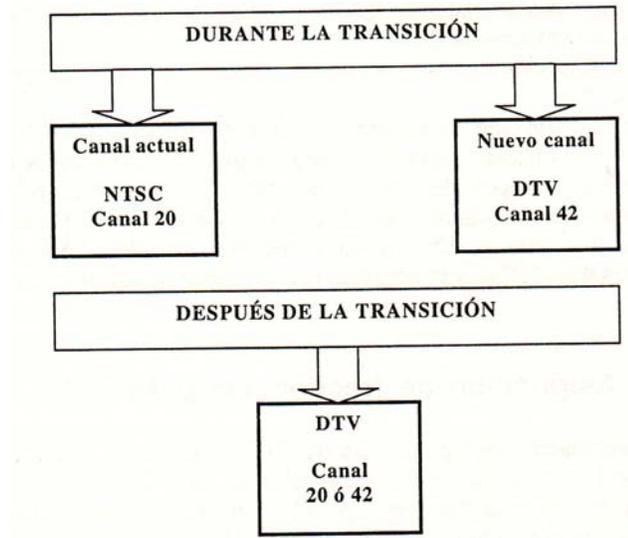
Veremos a continuación, algunos ejemplos de asignación de frecuencias para la transición y que sucederá después de ésta. Consideraremos tres casos que han surgido en EE.UU., durante la asignación de las frecuencias para DTV.

En la figura 75 se muestra un ejemplo típico. Un Broadcaster por ejemplo, tenía asignado para la emisión en NTSC, el canal 20 de UHF. Para el período de transición, se le asignó para DTV el canal 42 de UHF. Este Broadcaster emitirá hasta que dure la transición dos canales, el canal 20 en NTSC y el canal 42 en DTV.

Finalizado el período de transición (después del 2006), a este Broadcaster se le dejará asignada una sola frecuencia para DTV, que puede ser la del canal 20 ó 42. En este caso pueden ser una de las dos frecuencias. La razón es que ambas se encuentran dentro del espectro de asignación de DTV. El Broadcaster en ese caso, optará por una de ellas para seguir emitiendo en DTV, ya sea un programa de HDTV ó múltiples programas de SDTV, en un canal de 6 MHz de ancho de banda.

En este caso, es muy probable que el Broadcaster elija la frecuencia del canal 42. Esto es debido a que venía emitiendo en ese canal y por ello tiene el Transmisor Digital y la Antena Transmisora.

Figura 75. Ejemplo de asignación de frecuencia para DTV, durante la Transición.

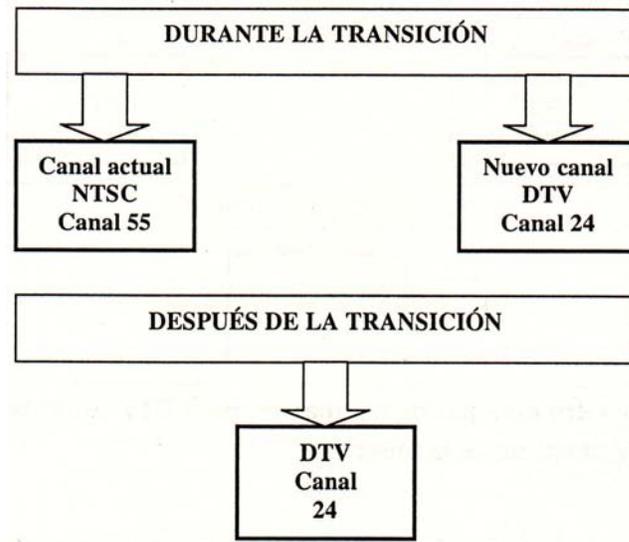


Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Transición de la Televisión Analógica a la Digital, Pág. 422.

En la figura 76 se muestra un segundo caso de asignación de frecuencia para DTV. En este ejemplo, supongamos que el Broadcaster emite su programación en NTSC por el canal 55 de UHF. Para DTV se le asignó un nuevo canal que es el 24 de la misma banda. Durante el período de transición, este Broadcaster emitirá su programación analógica por el canal 55 y la de DTV por el Canal 24.

Finalizado el período de transición, el Broadcaster no puede elegir la frecuencia como en el caso anterior, sino que se le asigna en forma automática el canal 24. Esto es debido a que el espectro de frecuencias asignado para DTV, tiene como límite el canal 51 de UHF y el canal 55 está fuera del mismo.

Figura 76. Otro caso de asignación de frecuencia para DTV, durante la transición y después de la misma.



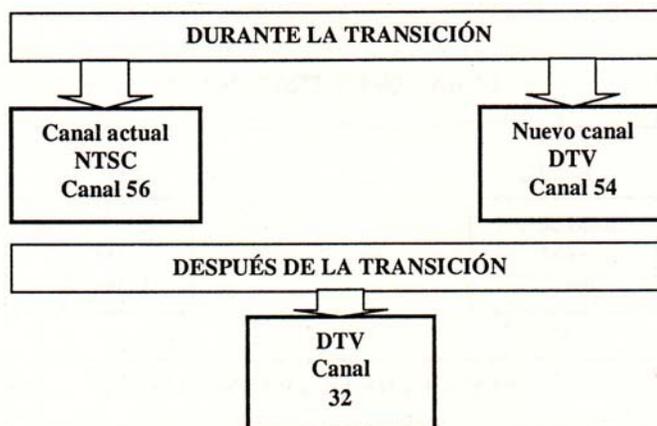
Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Transición de la Televisión Analógica a la Digital, Pág. 423.

Un tercer caso que se ha producido en EE.UU., es el mostrado en la figura 76. Aquí, el Broadcaster tenía asignada la frecuencia del canal 56 de la banda de UHF, para las emisiones en NTSC. Para DTV se le ha asignado una nueva frecuencia, supongamos el canal 54, también de la banda de UHF.

Finalizado el período de transición, el Broadcaster no puede optar por elegir, sino que se le asigna en forma automática un nuevo canal. Esto es debido a que ambos canales (56 y 54), se encuentran fuera de la banda asignada para DTV. En consecuencia, se le asignará un nuevo canal. A manera de ejemplo, supongamos que se le asigna el canal 32 de la banda de UHF.

Durante el período de transición, se han asignado algunas frecuencias fuera de la banda de DTV. Sin embargo, finalizado ese período, la frecuencia de DTV definitiva que tendrá el Broadcaster, deberá estar dentro de la banda asignada para DTV.

Figura 77. Otro ejemplo de asignación para DTV, durante la transición y después de la misma.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Transición de la Televisión Analógica a la Digital, Pág. 424.

5.1.3 Asignación de frecuencias DTV en Guatemala

Actualmente no se tiene previsto un rango estipulado de frecuencias para la transmisión de DTV en Guatemala, ya que la SIT no contempla la asignación específica de frecuencias para cada tecnología emergente, sino que es responsabilidad del usufructuario gestionar nuevas frecuencias para su proyecto específico. En este caso el usufructuario que posee un canal analógico tendrá que tramitar uno para poder transmitir DTV.

Un problema bastante serio que posee el espectro radioeléctrico en Guatemala es que ya no existen frecuencias reguladas, todo se encuentra ocupado, por ende las emisoras que actualmente están transmitiendo televisión analógica no tienen donde poder transmitir paralelamente DTV. A excepciones, como puede tener el ejemplo Radiotelevisión Guatemala posee la frecuencia del canal 19 de UHF, ellos si pueden transmitir paralelamente la misma programación en televisión analógica que sería el canal 3 y en televisión digital que sería el anteriormente dicho canal 19.

Por lo que no se podrá seguir el patrón realizado para la asignación de frecuencias de los EE.UU. aquí en Guatemala. Bueno una particularidad del ente en nuestro país es que nunca asigna frecuencias sino al contrario el recibe solicitudes para el uso de frecuencias y si todo esta entre lo normal y se llenan los requerimientos, el rango de frecuencias es dado en usufructo.

El punto que ellos plantean respecto a la nueva tecnología de televisión, es que si el usufructuario quisiera transmitir DTV, ellos dejarían que se transmitiera en el mismo canal que el usufructuario tuviese actualmente.

Por lo tanto la llegada de la televisión digital supone un cambio radical con tecnología de sustitución, que para Guatemala no podrá tener un periodo de transición por las razones antes mencionadas donde no se conseguirá transmitir paralelamente analógica y digital. Y el cambio que se hará lo demandara los usuarios, cuando ya la mayoría posea televisor digital y empiecen a requerir servicios digitales, ahí será donde las emisoras de televisión se verán obligados al cambio radical.

5.1.4 Modelos de nivel de infraestructura en Estados Unidos que se tomaran de ejemplo para Implementación de televisión Analógica a Digital en Guatemala

El período de transición, como habíamos mencionado que se daría en los Estados Unidos, es el lapso de tiempo en que tendrán que convivir juntas la televisión analógica y la digital.

Durante ese período, los sistemas de televisión deberán emitir dos señales; la señal analógica actual y la nueva señal digital en Alta Definición (HDTV). Para ello, los Broadcasters deberán adecuar sus sistemas en forma gradual, hasta converger a la emisión digital solamente. Pero mientras dure el período de transición, ambas señales

(analógica y digital), deberán emitirse en forma simultánea. Una vez finalizado el período de transición, solo se emitirá en digital.

Tengamos en cuenta que la emisión analógica debe mantenerse por un largo tiempo, debido a que el parque de receptores de esta tecnología, seguirá por muchos años. En el caso de Guatemala no podría hacerse de esta manera.

Veremos a continuación, a los principales rasgos de la televisión analógica a nivel de infraestructura y las distintas posibilidades que tienen los Broadcasters, para adecuar sus estudios para cuando el cambio este preparado poniendo de ejemplo distintos niveles de adecuación para el caso actual.

Solo consideraremos en estos ejemplos, el procesamiento de la señal de video, sin tener en cuenta la señal de audio, cuya implementación es más simple. En todos los casos, la emisión en digital corresponde a un programa en HDTV.

5.1.4.1 Requerimientos para transmisión analógica

La TV comercial empezó en USA en 1946. Para color se tuvo que decidir que sistema adoptar, la FCC decidió aprobar en 1952 el sistema propuesto por la CBS, se impusieron requerimientos más estrictos para la separación de estaciones con el mismo canal (Co-canales), resultando en un menor número de estaciones asignadas a VHF.

Para permitir más canales se usó una gran parte del espectro de UHF (470 a 806) MHz.

El sistema de la CBS no sobrevivió a la prueba del tiempo, por su incompatibilidad con la transmisión monocromática, en 1953 la FCC aprobó un sistema a color compatible desarrollado por la NTSC (National Television System Committee), el cual

estuvo basado en el sistema propuesto por la RCA, desde ese entonces ha sido conocido como el sistema NTSC, que emplea transmisión de banda lateral vestigial y ha sobrevivido hasta hoy.

En VHF se usa las bandas de 54-72, 76-88 y 174-216 MHz y en UHF de 470-806 MHz para transmisión de TV, estas bandas están divididas en canales de 6 MHz de ancho cada uno, cada canal se identifica con un número.

Los canales de VHF están divididos en dos segmentos, banda baja canales 2 al 6 y banda alta, canales 7 al 13, el pequeño espacio entre los canales 4 y 5 está reservado para uso aeronáutico (aeromodelismo)

Para el caso de AM se asignó en base a la demanda, la FCC estableció criterios de co-canal e interferencia de canal adyacente y si un solicitante podía demostrar que su propuesta cumplía estos criterios, se le concedía la licencia, pero muchas estaciones fueron autorizadas sin respetar este criterio, esta fue la razón de la superpoblación de estaciones y la excesiva interferencia mutua

Para no repetir este error con la TV, las estaciones fueron autorizadas en base a la demanda, pero sólo si estaban de acuerdo a una determinada tabla de asignaciones, que especificó los canales para cada ciudad y que podrían cambiarse sólo después de un engorroso procedimiento

Transmisión analógica estándar

Tiene dos portadoras, la visual 1.25 MHz por encima del borde del canal inferior y la aural 4.5 MHz arriba de la portadora visual.

La portadora visual, mucho del ancho de banda es ocupada por esta portadora y sus bandas laterales.

- **Método de modulación y potencia**

La portadora visual es modulada en amplitud por la señal de video, es transmitida con fijación de clamping (enclavamiento) la potencia transmitida y su máximo valor (100%), el pico de sincronismo y ajustando la ganancia del sistema tal que su valor de referencia para nivel de blanco sea de 7.25%. El valor de la potencia transmitida es el valor al pico de sincronismo. La potencia transmitida promedio es menor y dependerá del contenido de la imagen, siendo mínimo para una imagen totalmente blanca y máximo para una imagen totalmente negra. Esto es conocido como modulación negativa porque la potencia del transmisor disminuye con un incremento del brillo de la imagen.

En una escala de voltaje en la cual el pico de sinc esté a 1.4 y el pulso de blanking a 1.0, el voltaje rms del intervalo vertical sobre un cuadro completo es de 1.25, el voltaje rms durante los intervalos de una imagen activa depende del contenido de la imagen, típicamente se encuentra en un valor de alrededor de 0.2. En este ejemplo, el nivel de potencia promedio durante los intervalos de blanking sería proporcional a 1.252 o 1.56, mientras que la potencia promedio de la imagen sería proporcional a 0.22 o solamente 0.04. Aunque el intervalo de blanking ocupa sólo el 25% del tiempo, utiliza 97.5% de la potencia promedio del transmisor sobre el cuadro entero. Con un sistema de transmisión que tenga una potencia efectiva radiada de 100KW, solamente 2.5 KW son usados para transmitir información de imagen.

El resultado de esto es que la sincronización en el receptor continúa trabajando aún cuando la imagen casi ha desaparecido dentro del ruido.

La interferencia de co-canal también es un problema con los pulsos de sinc y blanking de alta potencia, siendo la mayor fuente de interferencia porque las señales de imagen de menor nivel de una estación deseada podrían ser anuladas por los pulsos de sinc y blk de alta potencia de las estaciones interferentes.

Ambos el espaciamiento entre estaciones co-canal y la potencia promedio transmitida es reducido sustancialmente usando el sistema DTV norte americano.

- **Elementos de un sistema de transmisión de TV**

El sistema de transmisión incluye al transmisor que genera las portadoras moduladas de visual y aural, filtros que remueven una parte de la banda lateral inferior, un diplexor que combina las portadoras visual y aural y la antena que radia la señal.

En los transmisores modernos la banda lateral inferior es removida en la etapa de frecuencia intermedia donde el nivel de potencia es bajo usando filtros tipo SAW (Surface Acoustic Wave filters). Las portadoras visual y aural son combinadas en un multiplexor, usualmente un notch diplexer, para su transmisión a la antena usando una sola línea de transmisión coaxial.

La antena es invariablemente direccional en el plano vertical para concentrar la energía radiada hacia el horizonte y a lo largo de la tierra en vez de desperdiciarla hacia el espacio.

Las estaciones en UHF usan antena direccionales en el plano horizontal también, las restricciones de la FCC norteamericana para este caso son muy severas y la directividad de la antena no puede ser usada para permitir menor espaciamiento entre estaciones, puede ser usada sólo para permitir incremento en la cobertura de la estación en una dirección deseada.

La ganancia de la antena es la relación entre la máxima densidad de energía radiada y la densidad de energía radiada de una antena de referencia, en este caso el dipolo de media onda.

Un dipolo de media onda radiando 1KW en espacio libre produce una intensidad de campo de 137.6 mV/m a una distancia de una milla (1 milla = 1.6 Km). La referencia al dipolo de media onda difiere del radiador isotrópico, que es la referencia para sistemas de microondas o satélite, un radiador isotrópico es una referencia teórica y simplifica los cálculos. La ganancia de un dipolo de media onda es 2.15 dB con respecto a un radiador isotrópico.

La FCC especifica limitaciones sobre la potencia efectiva radiada (ERP – effective radiate power)

$$ERP = P_T G_\lambda E_{EFF}$$

Donde ERP es la potencia efectiva radiada P_T es la potencia de salida G_λ es la ganancia de la antena respecto al dipolo de media onda y E_{EFF} es la eficiencia de la línea de transmisión, diplexor y los otros elementos del sistema, entre la salida del transmisor y la entrada de la antena

- **Limitaciones**

Altura de antena/ERP. La FCC limita el ERP y la altura de la antena de las estaciones de TV a efectos de tener un plan ordenado para la asignación de canales en todas las ciudades de EE.UU. (En el Perú el ente encargado es el Ministerio de Transportes y Comunicaciones – MTC). Estos límites son mayores para VHF alta que para VHF baja y mayores para UHF que para VHF, esto refleja las características de propagación menos favorables a altas frecuencia. En consideración a estas limitaciones, la FCC estableció criterios para separación entre estaciones co-canal y adyacentes para

minimizar la interferencia mientras se permitía un número razonable de asignaciones. Limitaciones de potencia adicionales para antenas más altas que lo especificado se muestran en las figuras.

Esta reglamentación no se ha adoptado con igual criterio en el Perú, Lima cuenta con mucho mayor ERP que cualquier otra ciudad y el por qué se permitió, es otra historia.

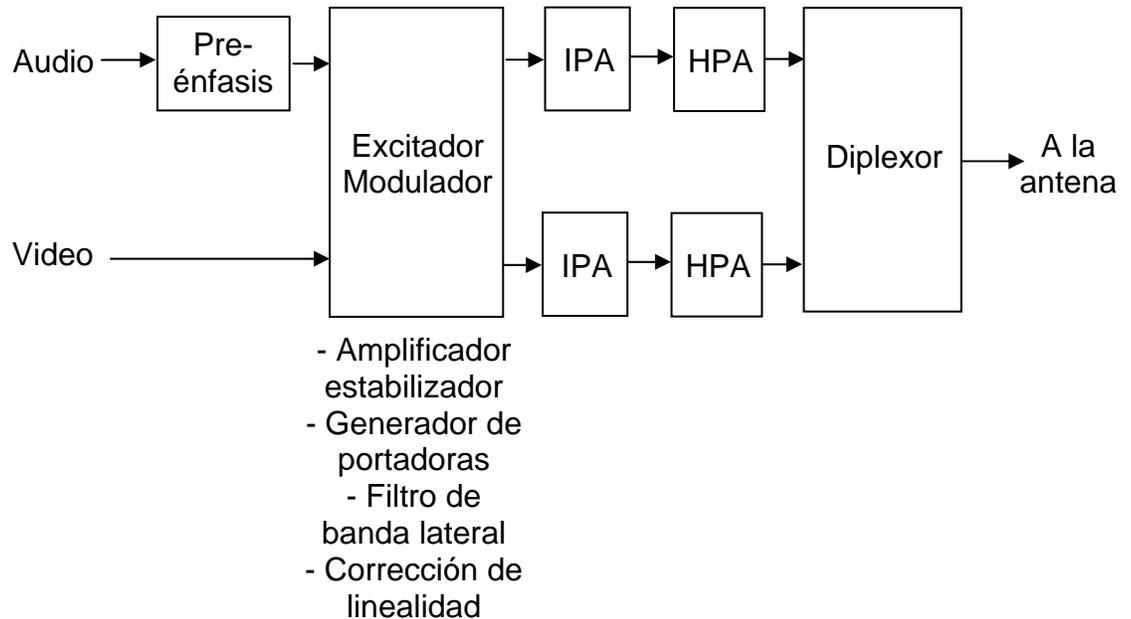
- **Transmisores de TV**

El diseño difiere dependiendo de la banda de frecuencias y la potencia a emplear. Otras resultan de las patentes de los fabricantes para el arreglo básico de su sistema y sus componentes. Todo transmisor debe incluir los siguientes componentes:

1. Pre-énfasis en el aural
2. Amplificadores de procesamiento para corregir deficiencias tales como niveles incorrectos de sincronismo en la señal de video entrante así como restauración de DC.
3. Generadores de portadora visual y aural dentro de las tolerancias permitidas.
4. Moduladores visuales y aurales
5. Filtros para remover las bandas laterales inferiores de la portadora modulada del visual y remover componentes de frecuencia espurios de ambas portadoras
6. Corrección de linealidad en el camino visual para compensar por la modulación de fase incidental y ganancia diferencial, idealmente estas correcciones deben ser hechas en ambos dominios el de video y de RF
7. Amplificadores de Potencia Intermedios y Finales (IPA – High Power Amplifier y HPA – High Power Amplifier)

En la figura se muestran las partes de un transmisor típico de televisión mostrando las ubicaciones de estas funciones

Figura 78. Diagrama de bloques de un transmisor de TV Analógico.



Fuente: <http://aniak.uni.edu.pe/tv/terrest.ppt>

Modulador excitador, es el corazón del transmisor e incluye las funciones del 1 al 6. Su salida está modulada con las portadoras aural y visual a bajo nivel de potencia. El pre-énfasis del audio tiene una constante de tiempo de $75 \mu\text{s}$

Amplificador estabilizador: Regenera los pulsos de sinc y estabiliza su amplitud, se restaura el componente DC de la señal al nivel de blanking. Los picos de blanco son recortados para evitar sobrecarga en el modulador

Corrección de linealidad y respuesta en frecuencia: son realizados en los dominios de video y RF.

Generación de portadora visual y aural: son generados a nivel de FI (Frecuencia intermedia) sus tolerancias son pequeñas, por la asignación de canales offset, los que

requieren una diferencia de $\pm 10\text{KHz}$ en sus portadoras respecto a otra en el mismo canal. Las estaciones son asignadas sobre la base de que esta técnica no será efectiva si la diferencia en la frecuencia de las portadoras excede grandemente a esta tolerancia. Es importante que la diferencia entre las portadoras visual y aural se mantenga dentro de la tolerancia y cualquier desplazamiento de las mismas sea conjunto

Modulador visual: Los transmisores modernos emplean modulación de “bajo nivel”, como ventajas incluyen la eliminación de moduladores de alta potencia y filtros de banda lateral vestigial a la salida del Tx, la habilidad de corregir no linealidades y distorsiones de la respuesta en frecuencia con compensación en ambos dominios del video y la RF. Su desventaja es el empleo de amplificadores de potencia lineales

Filtro SAW y remoción de banda lateral: Son filtros de ondas acústicas que funcionan bajo el principio “piezoeléctrico”, son filtros sintonizados (en su construcción) que producen respuestas de amplitud y retardo de envolvente que son inalcanzables con filtros RLC convencionales, los diseñadores han conseguido respuestas de frecuencia para la banda lateral vestigial requeridas para poder hacer correcciones de frecuencia y linealidad en el dominio de la RF. La pérdida de inserción del SAW filter es alta ($\sim 25\text{dB}$) y amplificadores de bajo ruido se usan para tener buena S/N.

Conversores ascendentes (Up converter): Es un circuito heterodino convencional que mezcla las salidas los moduladores visual y aural con la del oscilador local operando a la suma de la FI y la frecuencia de la portadora final. La salida del up-converter a la frecuencia final de la portadora son luego enviadas a los amplificadores de potencia intermedia (IPAs) visual y aural respectivamente.

IPA: son amplificadores de potencia lineales que proveen la entrada a la etapa final de potencia (PA ó HPA), deben generar suficiente potencia para excitar al PA a potencia

total y su respuesta en frecuencia y linealidad deben ser consistentes con las especificaciones de rendimiento del Tx. Los requerimientos de potencia varían desde 25W para excitar un Klystron de UHF a cerca de 2000W para excitar a algunos tetrodos en VHF, a la fecha los IPA son en su totalidad de estado sólido (LDMOS)

Amplificadores de Potencia: Se han beneficiado de las mejoras tecnológicas, (LDMOS) el estado sólido se emplea hasta potencias de 60KW para VHF y 20KW para UHF, en UHF los Klystron ya están de salida también se trabaja con los IOTs (Inductive Output Tetrode) de 30KW hasta 240KW, emplean control en grilla y velocidad de modulación.

La proporción en manejo de potencia en VHF baja, VHF alta y UHF es de 1:3:6 aproximadamente.

Estándares de rendimiento del Transmisor: Hay que distinguir entre rendimiento de los equipos y del sistema para la interpretación de los estándares de rendimiento. Degradaciones y distorsiones son acumulativos en los sistemas análogos, la S/N, el rendimiento de cada elemento en el sistema debe ser mejor que el del sistema total.

Los estándares de rendimiento de esta sección son sólo para el transmisor, siendo los estándares de la industria mucho más exigentes que el del órgano regulador.

- **Líneas de Transmisión:**

Emplea cables coaxiales, de cobre; aunque en UHF de alta potencia se encuentra guías de onda. Modo de transmisión en una línea coaxial: Viaja a una velocidad cercana a la de la luz si el dieléctrico es de aire, si es sólido (foam o espuma) la velocidad y la longitud de onda son reducidas por la raíz cuadrada de la constante dieléctrica del material aislante.

En su modo primario el campo eléctrico es perpendicular al eje de la línea, si la longitud de onda es igual o menor que la circunferencia de la línea, puede producirse un modo secundario en el cual el campo eléctrico es circular y coaxial con la línea, esto es conocido como multimodo, siendo indeseable porque incrementa las pérdidas y reduce la capacidad de manejo de potencia de la línea. En la práctica, este límite es útil para líneas coaxiales a frecuencias con longitudes de onda mayores al tamaño de la circunferencia de la línea, un factor que debe ser considerado en el límite superior de la banda de UHF.

Las ondas de voltaje y corriente están en fase y su relación E a I es ZC, la impedancia característica de la línea, si la impedancia de la carga al final de la línea iguala a la impedancia característica, toda la energía de la onda es absorbida. Si no son iguales parte de la energía no es absorbida y las ondas de corriente y voltaje son enviadas de vuelta al transmisor. La magnitud de la fase del voltaje y la corriente en cada punto sobre la línea es el vector suma de las ondas directa y reflejada, se forma una onda estacionaria con máximos y mínimos separados por la mitad de una longitud de onda.

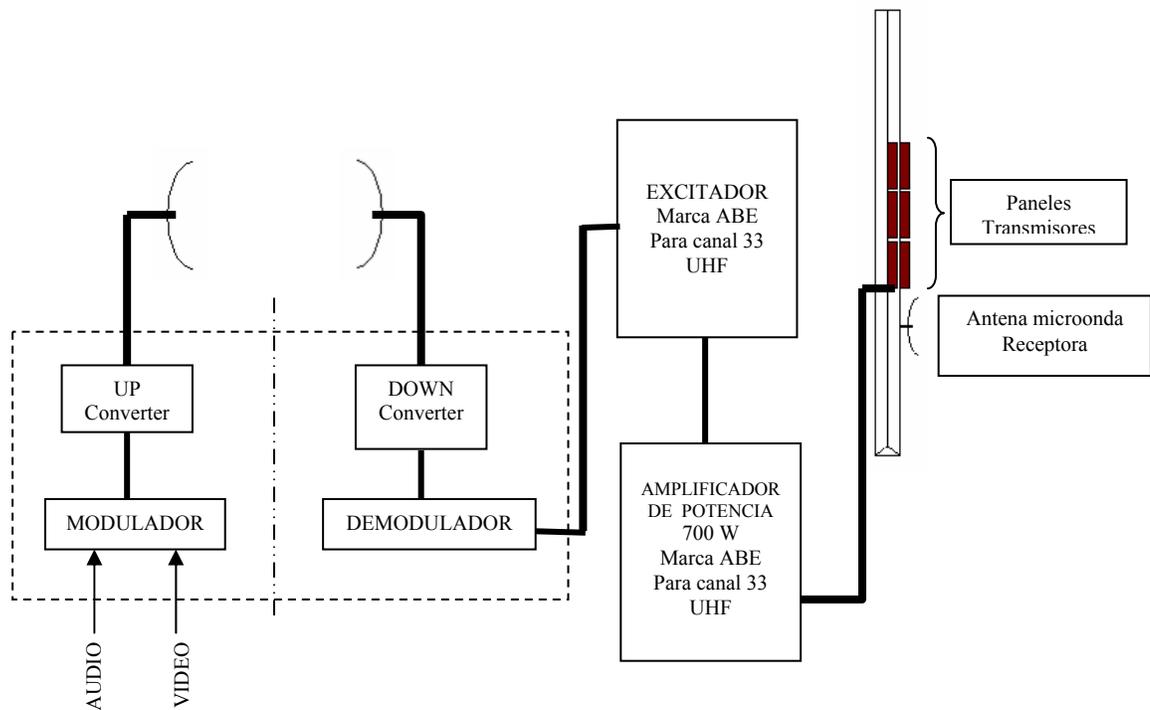
Relaciones de voltaje y corriente: La relación del voltaje máximo al mínimo es llamado VSWR (voltage standing wave ratio – relación de onda estacionaria de voltaje) y es una medida fundamental para la línea.

5.1.4.2 Infraestructura de la televisión actual en Guatemala

La infraestructura que poseen las emisoras de televisión que están al aire esta basado en la infraestructura anterior. Ya que la norma que actualmente rige nuestro país es la norma analógica americana NTSC.

A continuación se observa un diagrama de bloques de la actual estructura analógica para la emisora de televisión del canal 33 de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Las características principales son las siguientes: el estudio y producción del canal se encuentran en el Centro Cultural Universitario, en la Ciudad Capital que se encuentra a 1500 metros sobre el nivel del mar aproximadamente, y se envía la señal por un enlace de microonda tipo (split) con 1 W de potencia de salida hacia el Cerro Alux que se encuentra a 2450 metros sobre el nivel del mar para su transmisión. La antena tiene 1.2 metros de diámetro marca OMB, la frecuencia es de 3385MHz / 12Km, el cable utilizado es Tx Heliac 7/8". En la parte de amplificación tenemos una potencia de 700 W de salida. La estructura de la torre tiene 72mts de alto, con 12 secciones de 6mts cada una y los paneles se encuentran a 55-60 metros de altura.

Figura 79. Infraestructura TV analógica canal UHF canal 33, Canal Universitario.



Fuente: Centro Cultural Universitario

A continuación se hará mención de algunos canales que se encuentran al aire dando consigo la potencia a que transmiten

Entre los canales de VHF están, canal 3 Radio Televisión Guatemala S. A., canal 7 Televisiete, canal 11 Tele Once S. A., Canal 13 Trecevisión S. A., cada uno de estos poseen un transmisor de 22 kilovatios.

Entre los canales de UHF están, el canal 21 Audio-Video de Guatemala S. A., canal 63 de la Iglesia Católica Arquidiócesis de Guatemala, canal 19 Radio Televisión Guatemala y canal 45 poseen un transmisor de 1 kilovatio.

Los canales, 27 Multivisión S. A. y el canal 31 poseen un transmisor de 10 kilovatios.

El canal 19 de Radio Televisión Guatemala es un canal HD, para su primera difusión el día 9 de junio de 2006, Radio Televisión Guatemala realizó implementaciones para la transmisión del mismo, donde la empresa Harris les proveyó del equipo necesario. Harris ayudó con la instalación de un transmisor de Harris Ranger™ ATSC 1kW, de los codificadores de Harris NetVX™ HD, y de un sistema de control principal de Leitch IconMaster™ SD/HD-configurable incluyendo arrastres del carácter y efectos del squeezeback; y las series de NEO™ XHD™ UP y DOWN - CONVERTERS.

El equipo de transmisión principal se encuentra en la ciudad de Guatemala, un servidor video de la transmisión de Leitch NEXIO™, será utilizado para el almacenaje y el playout.

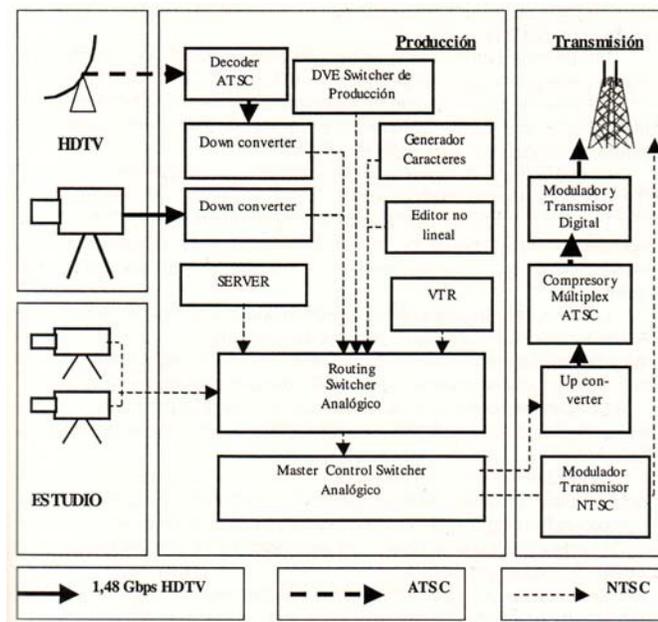
Harris Ranger™ equipara con el excitador de Apex™ de la compañía, ofreciendo tecnología de RTAC™ (corrección adaptante en tiempo real) para proporcionar la mejor calidad del cuadro con el proceso realizado de la señal numérica. Harris también

proporcionará la línea de la transmisión, cargas del RF, los combinadores, y el equipo principal de energía.

5.1.4.3 Infraestructura analógica existente

En la figura 80 se representa un sistema analógico existente compuesto por; Estudio, Producción y Transmisión.

Figura 80. Infraestructura analógica existente y adaptación para HDTV. Reproducida con permiso de Snell Wilcox.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Transición de la Televisión Analógica a la Digital, Pág. 425.

Este sistema es similar a la mayoría de los sistemas de televisión aéreos de NTSC, que están funcionando actualmente en EE.UU. Este ejemplo es el más simple y se trata de aprovechar parte del equipamiento analógico existente, para implementar a bajo costo, la transmisión digital en HDTV.

Estos ejemplos, son considerados para aprovechar las distintas alternativas existentes, durante la transición en EE.UU. Se transmite en digital una señal de HDTV, además de la señal analógica actual. También podrían considerarse estos ejemplos para otros países (independientemente del estándar empleado), pudiendo emitirse como señal digital un programa de HDTV. También se puede cambiar la estructura existente, para emitir varios programas de SDTV.

En cualquiera de los casos, se trata de utilizar parte de la infraestructura existente y efectuar luego una ampliación a HDTV o SDTV. En algunos casos, no es la situación ideal, debido a la pérdida de calidad. Sin embargo, se aprovecha parte del equipamiento analógico existente, para transmitir una señal de HDTV. Lo que se trata de lograr es una mínima inversión inicial en equipos de HDTV, durante el período de transición.

Volviendo al ejemplo de la figura 80, el sistema de HDTV se halla compuesto por un sistema de recepción satelital y un Estudio con dos Cámaras. En la figura, se representa una sola cámara por simplicidad del diagrama.

La señal recibida de Satélite es decodificada a través de un Decoder ATSC, obteniéndose a la salida una señal de 1,48 Gbps en HDTV. Esta señal para poder ingresarla al Routing Switcher analógico, es convertida de 1,48 Gbps - HDTV a una señal analógica NTSC, a través del Down Converter. El mismo proceso, se realiza con la señal de HDTV proveniente de las Cámaras de Estudio. Estas señales de digital HDTV se convierten a analógica NTSC.

El Routing switcher es utilizado para rutear las distintas señales que ingresan en sus entradas. Además de la señal de Satélite y de las Cámaras de Estudio, al Routing Switcher ingresan las señales analógicas provenientes de un Sistema de Edición no Lineal, un Generador de Caracteres, un Server y una Videograbadora (VCR).

La salida analógica del Routing Switcher es conectada a la entrada del Master Control Switcher. Este equipo, permite generar múltiples efectos, además de proveer otras facilidades adicionales. El Master Control Switcher tiene dos salidas. La segunda de ellas, ingresa al modulador y la salida de este excita al transmisor. La salida de este es conectada a la primer Antena Transmisora, mediante una Línea de Transmisión. De esta manera, se transmite la señal analógica existente.

El Up Converter realiza dos funciones: la primera de ellas es la de un Decoder, o sea que convierte la señal analógica a una señal SDI. La segunda función, es convertir la señal SDI de 270 Mbps a una señal de 1,48 Gbps de HDTV. Esta señal, es comprimida y multiplexada a través del Compresor y Múltiplex de Transporte en HDTV en el estándar ATSC.

La salida del Múltiplex es conectada a la entrada del Modulador 8-VSB. El flujo digital modulado excita al Transmisor Digital y la salida de este mediante la Línea de Transmisión, es conectada a la segunda Antena Transmisora.

El sistema presentado en este ejemplo es el más simple y tiene algunas ventajas. Si bien este caso no presenta toda la calidad que se requiere de una señal de HDTV digital, permite al menos durante la transición, aprovechar el equipamiento analógico existente para transmitir la señal digital.

En esta infraestructura la inversión inicial a realizar es mínima. Aún, con la pérdida de calidad que significa la conversión de la señal analógica a digital HDTV, es una buena opción para comenzar las emisiones de HDTV.

5.1.4.4 Infraestructura existente SDI y nueva planta en HDTV

Otra de las alternativas interesantes que existe durante la transición, consiste en utilizar la infraestructura existente en Digital Serie (SDI) y proyectar el resto de la planta en HDTV. La Transmisión Digital se realiza en HDTV.

En la figura 81 se representa un diagrama de bloques de esta infraestructura combinada. Esta opción es interesante, pues permite por un lado producir y emitir durante una parte del día programación en HDTV y durante otra parte del día permite producir y emitir en SDTV.

La conformación de este diagrama de bloques está separada en dos partes. El Centro de Producción y emisión en HDTV y el de SDTV (Televisión Digital Estándar).

La salida del Master Control Switcher en digital HDTV, es conectada a la primer entrada del Compresor ATSC y la salida de este ingresa al Múltiplex.

A la salida del Múltiplex tenemos formado el Flujo de Transporte. Este es conectado a la entrada del Modulador 8-VSB.

La salida de RF modulada ingresa al Transmisor Digital y la salida de este es conectada a la primer Antena Transmisora, mediante la Línea de Transmisión.

La primera salida SDI del Master Control Switcher, es conectada a la entrada del Encoder NTSC. Este equipo convierte la señal SDI a analógica NTSC. Esta señal es conectada a la entrada del Modulador. La salida de este es conectada a la entrada del Transmisor Analógico.

La salida del Transmisor es conectada a la segunda Antena Transmisora, mediante la Línea de Transmisión.

Otra opción para generar la señal de HDTV, es tomar la segunda salida SDI del Master Control Switcher y mediante un Up Converter, convertirla de SDI - 270 Mbps a HDTV - 1,48 Gbps. Este flujo digital ingresa a la segunda entrada del Compresor-Multiplex de HDTV, visto anteriormente.

Mediante el centro de Alta Definición (HDTV), logramos la más alta calidad en televisión. El formato utilizado es 1080i (entrelazado).

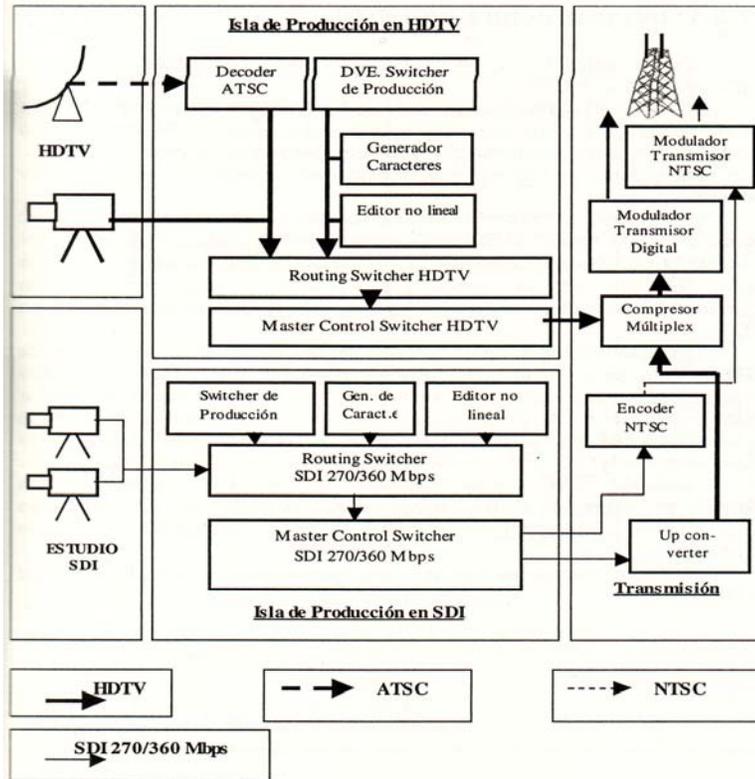
El Centro de Producción en SDI, permite operar en 270 Mbps con una relación de aspecto de 4:3 o en 360 Mbps en 16:9. También, con este último , formato se logra una muy buena calidad de imagen.

Ambos centros, están interconectados de tal manera de ampliar las facilidades. El diagrama de cada uno de ellos, es similar en su conformación e interconexión a los diagramas de bloques anteriores, lo cual no vale la pena explicar nuevamente.

Este sistema, resulta muy apropiado para la transición y aún después de la misma. La única desventaja es que si no se dispone de un Estudio SDI existente, resulta más caro invertir en ese equipamiento, pues simultáneamente se debe invertir en el equipamiento de HDTV.

Sin embargo, si el Broadcaster dispone de un sistema SDI similar al diagrama, esta es la solución ideal, pues solo se requiere una mínima inversión inicial en el equipamiento de HDTV.

Figura 81. Infraestructura digital serie SDI y HDTV. Reproducida con permiso de Snell y Wilcox.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Transición de la Televisión Analógica a la Digital, Pág. 433.

5.1.4.5 Infraestructura en HDTV

En la figura 82, se muestra un diagrama de bloques de una infraestructura en HDTV.

Cuando el objetivo final consiste en emitir programación en HDTV, esta es la solución más apropiada. Es la más costosa, pues todo el equipamiento es de HDTV y debe adquirirse por completo, pero es la solución ideal.

Con este sistema se logra la más alta calidad de imagen en producción y emisión.

La segunda salida del Master Control Switcher ingresa al Encoder ATSC (Compresor y Múltiplex). El Flujo de Transporte así obtenido excita al Modulador y la salida de este es conectada al Transmisor Digital.

La señal de RF de salida del Transmisor, es conectada a la Antena Transmisora mediante la Línea de Transmisión. De esta manera, se transmite el programa digital en HDTV.

Simultáneamente, se debe transmitir la misma señal, pero analógica NTSC. Esto es a fin de que todos los usuarios que tengan receptores analógicos, puedan recibir esa señal.

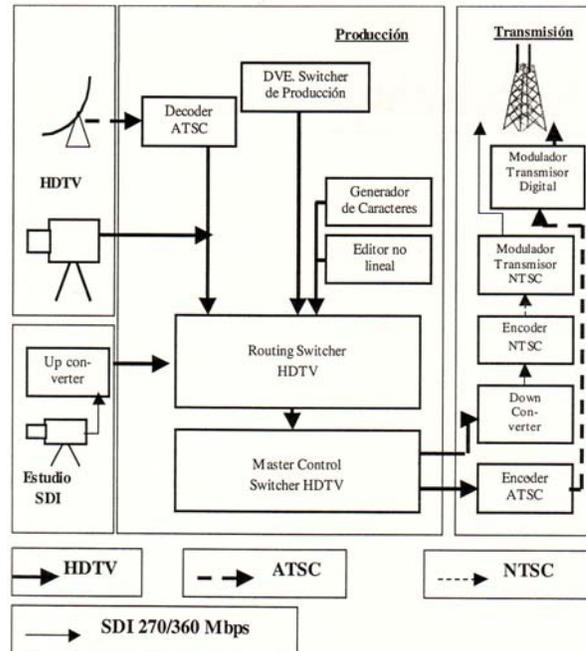
Para ello, la primera salida del Master Control Switcher en HDTV ingresa al Down Converter.

Este equipo convierte la señal de 1,48 Gbps de HDTV a una señal de 270 Mbps SDI. Luego a través de un Encoder NTSC, se convierte la señal SDI a una señal analógica NTSC

Con esta señal de video compuesta, se excita al Modulador y la salida de este es conectada al Transmisor.

La salida de RF del Transmisor es conectada a la segunda Antena Transmisora, mediante la Línea de Transmisión. De esta manera, se transmite la segunda señal, que es la analógica NTSC.

Figura 82. Infraestructura en HDTV. Reproducida con permiso de Snell y Wilcox.



Fuente: Televisión Digital Avanzada,
Transición de la Televisión Analógica a la Digital, Pág. 435.

5.1.5 Comparación entre las actuaciones de transmisores de televisión digitales y analógicos.

Con un transmisor de televisión analógico, con modulación de amplitud, así como el nivel de señal recibido se reduce debajo de un cierto umbral, el video y la calidad del audio se deteriora progresivamente. En práctica, la señal mínima aceptable está aproximadamente en 0.5/1 mV.

En el contraste, el audio y calidad del video de un receptor digital no se degrada, es más, permanece constante aunque la señal recibida este bajando, hasta llegar a un umbral (generalmente alrededor de 20dB bajo el umbral analógico) debajo del cual la señal se pierde.

El nivel del umbral exacto depende por varios factores/configuraciones: Code Rate, Symbol Rate, la figura de ruido de receptor etc.

En Resumen tenemos que:

- Un solo transmisor puede usarse para llevar 4 (o mas) programas video/audio/data.
- La calidad de la señal recibida es más alta y no se degrada progresivamente como la entrada del receptor se reduce, permanece constante hasta un umbral muy bajo (el rango de entrada de receptor se aumenta alrededor de 20dB con respecto al nivel necesitado para una recepción analógica buena). Así que es posible usar menor potencia o el tamaño de la antena más pequeño para transmitir sobre la misma área.

5.1.6 Servicios existentes en la TV libre y gratuita analógica

La TV abierta, basada en la n de los televidentes por la gratuidad de sus Programas, promueve contenidos informativos y de entretenimiento, propios y de terceros, que una vez instalados en los televidentes, se podrán distribuir también a través de otras plataformas en los formatos adecuados a cada una de ellas.

Estos contenidos son financiados por los reales clientes de la TV abierta, los anunciantes, que planifican la instalación de sus Marcas, Productos y Servicios en función.

La posibilidad de transmitir en la TV abierta señales en alta definición o HDTV no debe ser considerada como un lujo sino como una necesidad para posicionarse frente a otras plataformas y medios físicos, como los formatos en HD-DVD, para poder seguir

reteniendo a sus clientes, los anunciantes, y seguir así manteniendo el servicio de TV abierta, libre y gratuita para la población en general.

Varios cable operadores de la región usarán el estándar de TV digital de cable usado en USA, denominado SCTE-QAM, compatible con ATSC, que soporta HDTV y se complementa con la TV digital por aire bajo la plataforma interactiva común denominada ACAP, como necesidad para posicionarse frente a las plataformas DSL-IPTV.

Los operadores satelitales podrán usar en la región receptores decodificadores integrados de TV Digital de aire ATSC y señales propias en HDTV, también como necesidad para posicionarse frente al DSL-IPTV.

Hoy la alta definición es una necesidad REACTIVA para la TV abierta, libre y gratuita de todo el continente, frente a otras plataformas que la proveerán en mediano plazo.

Los canales de aire transmitidos en ATSC pueden distribuirse por el cable en su mismo estándar digital de aire, respetando el principio de antena comunitaria, por ejemplo en cables que no se han digitalizado aún.

No obstante el cable puede retransmitir la TV digital de aire en forma gratuita en su estándar digital (SCTEQAM ITU-J 83 AnnexB, NO ES DVB-C), usando sus propios decodificadores.

La industria responde integrando los dos receptores, al ser el tren digital de ambos igual, manteniendo el principio de TV LIBRE.

PLATAFORMA en UE: La forma de transmisión DVB-T/COFDM no fue desarrollada para ser redistribuida dentro del cable. Técnicamente no permite servicio de antena comunitaria en los Cables, limitación no importante en UE por ser plataformas en competencia.

Cada Canal de aire maneja su propia información para la guía electrónica de programación (EPG) a través del protocolo PSIP.

ATSC y CABLE-LAB armonizaron una plataforma interactiva común para el cable y el aire (ACAP), que permite ser incorporada en los TV de venta libre.

Los Cable Operadores poseen las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

Redes bidireccionales de muy alta capacidad. Adecuadas a entornos urbanos densos. Ventajas del cableado: seguridad, resistencia a interferencias y no compartición de espectro con otros operadores. Escalabilidad: oportunidad de aumentar la capacidad ofrecida al usuario acercando la fibra óptica al hogar (FTTC, FTTH) a medida que crece la demanda de ancho de banda y bajan los costes de los equipos ópticos.

Desventajas:

Gran complejidad en obra civil. Costes elevados. Nula rentabilidad económica en zonas rurales o poblaciones dispersas. Enorme inversión inicial en infraestructura.

No se recuperan inversiones hasta bastante tiempo después. Planes basados en estadísticas. Canal de retorno, a través de la propia red de cable con altos niveles de ruido e interferencias. Modulaciones más robustas aunque menos eficientes + códigos

de corrección de errores + Monitorización de canal. Incorporación de nuevos usuarios condicionada a hogares pasados por el cable.

5.2 Enfoques nacionales para determinar necesidades, objetivos y políticas

La televisión es un importante medio de difusión de informaciones, cultura y entretenimiento para la humanidad.

Desde su creación, este servicio ha sufrido un desarrollo continuo. Pero la introducción de la tecnología digital, representa para el telespectador un cambio significativo, aún más que el advenimiento de la televisión a color.

La televisión terrenal digital es una nueva y formidable plataforma de comunicación basada en tecnología digital para la transmisión de señales.

La magnitud de ese cambio, y sus implicancias, llevan a la necesidad de adoptar soluciones que brinden los mayores beneficios para la sociedad.

La introducción de la televisión terrenal digital, correctamente realizada, puede constituirse en un importante factor de desarrollo tecnológico, económico y social. Para ello, se debe basar en las premisas siguientes:

1. Fomentar el desarrollo tecnológico e industrial nacional.
2. Promover el refuerzo de la cadena de valor y de generación de negocios.
3. Ser adaptable a las condiciones socio-económicas.
4. Permitir una implantación gradual, minimizando los riesgos y los costos para la sociedad.
5. Aprovechar el universo de televisores existentes.

6. Brindar nuevas aplicaciones asociadas que faciliten el acceso a la cultura, la información y el entretenimiento.

La multiplicidad de cuestiones tecnológicas, socioeconómicas y político – regulatorias a considerar, requiere un trabajo metodológico, basado en una visión multidisciplinaria, a realizar, conceptualmente, en tres etapas básicas:

Una primera etapa cuyos objetivos sean:

1. Definir un “sistema” de televisión terrenal digital.
2. Elegir la plataforma tecnológica para el “sistema” y
3. Establecer el periodo y la forma para la transición de la transmisión analógica a la digital.

Una segunda etapa de desarrollo de las tecnologías y servicios relevantes para el “sistema”.

Una tercera etapa de implementación del “sistema”.

En este marco conceptual, el término “sistema” comprende los modelos de servicios, los modelos de negocios, las alternativas de plataformas tecnológicas, etc.

En la primera etapa, acorde con las premisas establecidas para la introducción de la televisión terrenal digital, resulta fundamental coordinar las investigaciones tendientes a impulsar un desarrollo tecnológico nacional que brinde los beneficios siguientes:

1. Reducción de la dependencia tecnológica y sustitución de importaciones de software y hardware.
2. Fortalecimiento de la industria nacional aumentando su potencial.
3. Incentivo a la producción de contenidos y nuevas oportunidades de negocio.

4. Mayor capacidad de articulación y poder de negociación con proveedores internacionales.

5.3 Aplicaciones de televisión digital

5.3.1 Como se espera que sea la televisión

- Permitirá una programación asíncrona sin necesidad de grabar.
- Toda la programación podrá estar almacenada en servidores, que permitirán consultas inmediatas.
- Podremos armar a medida nuestra programación. Los noticieros contendrán el tipo de noticias que nosotros decidamos tener y durará el tiempo que nosotros queramos, manteniendo el contenido.
- Se podrá repetir, retroceder, avanzar y pausar a voluntad. Sin operar un aparato adicional en nuestros hogares.
- La Televisión será enteramente DIGITAL, esto le asegura ausencia de interferencias y gran calidad de imagen.
- El concepto de "emisión conjunta" se cambiará por el de "emisión dirigida" o "emisión personalizada".
- Las secuencias de imágenes de la programación podrán ser modificadas por cada televidente.
- La Edición de programas será sumamente fácil para el aficionado.

- El aparato receptor será de usos múltiples.
- La Televisión será de formato seleccionable (4:3 y 16:9).
- Admitirá la HDTV.
- Será de pantalla plana y semejante a un cuadro.
- Nos permitirá guardar segmentos de programa o tomar parte de ellos para darle otras aplicaciones, sin utilizar un grabador.
- Se impondrá el Vídeo por Demanda (VOD).
- El televidente podrá elegir la toma de imágenes provenientes de varias cámaras en la mayoría de los programas.
- Se podrán ver varias imágenes en la pantalla según la selección.
- Existirá la realidad virtual para programas y juegos.
- Las empresas venderán sus productos directamente a sus clientes.
- Los anunciantes le pagarán a los televidentes cada vez que éstos vean su publicidad.
- La publicidad será direccionada y distinta para cada conjunto de televidentes dentro de un mismo programa (anuncios dirigidos).

- Se podrán hacer consultas relacionadas con casi cualquier persona, producto y/o lugar que aparezca en una toma durante un programa. A pedido se brindarán mayores datos sobre lo consultado.

5.3.2 Campo de aplicación del HDTV

- Hogar, Institucionales, Profesional, Grabación de eventos, Gobierno, educación, programas y comerciales de bajo presupuesto, cine independiente, etc. HDV Home y Profesional
- Cine independiente, Proyectos de mediana envergadura, Producción de Programas, noticieros, video-clips, novelas, comerciales, documentales, etc. HDTV Profesional (para algunas aplicaciones), XDCAM HD
- Cine medianas producciones, comerciales, novelas. XDCAM HD, HDCAM
- Cine de grandes estudios HDCAM SR

5.3.3 Aplicaciones

- HDTV
 - Facilita Exportación
 - Producción HDTV para Cine
 - Costo Producción HD = SD
 - Introducción Gradual
- Múltiples programas en SDTV
- Recepción móvil
- Recepción portátil
- Interactividad
 - Informaciones adicionales al programa
 - Opciones de Interactividad
 - Local (tenido en el STB)

Con canal de vuelta y modem

- Acceso a la internet por la red de telecomunicaciones – alámbrico o inalámbrico
- Contenido y aplicaciones interactivas

5.3.4 Futuro de la HDTV

Hay dos consideraciones:

Aplicaciones de Producción: Creciente aplicación de HDTV para el hogar e inserción de dispositivos en el hogar, esto acelera la producción en HDTV. La producción es totalmente independiente de la Transmisión.

Aplicaciones de Transmisión: El criterio esta dividido, EUA impulsa la HDTV por aire y cable, en Europa interesa mas la DTV de resolución estándar y múltiples servicios.

A nivel de producción HDTV ya se esta utilizando y ha empezado a introducirse en productoras de bajo presupuesto.

A nivel de transmisión. Argentina adoptó el sistema ATSC pero se esta revisando esta decisión. Canal 13 transmitió el Mundial de Fútbol en HDTV en ATSC.

CONCLUSIONES

1. La señal analógica sufre un proceso para llegar a ser una señal digital, dentro del proceso se puede mencionar la fase de muestreo, cuantificación y codificación para su transmisión, teniendo al final una señal libre de ruido, lo que conlleva a tener mejor calidad de imagen y sonido en tan solo el mismo ancho de banda de un canal analógico de 6 MHz.
2. Para la transmisión de la señal digital es muy importante la llamada compresión digital. La compresión digital, como su nombre lo indica, comprime la señal para que la transmisión de esta sea la más adecuada, ya que, si quisiera transmitirse tal y como es editada necesitaríamos un ancho de banda mucho mayor el cual no sería factible a nivel comercial. El estándar de compresión digital que se apega más a los requerimientos del presente trabajo es el MPEG-2.
3. En la televisión digital, además de la transmisión de video y sonido altamente mejorado, el usuario puede obtener variedad de servicios, pues, la televisión digital es una convergencia de tecnologías. Dependiendo de la relación de compresión se puede transmitir señales de video SDTV y HDTV, en donde se pueden transmitir múltiples señales SDTV en el ancho de banda que ahora ocupa un canal analógico, y una señal de televisión de alta definición en el mismo ancho de banda de un canal analógico. Interactividad, datos, plataformas multimedia, recepción portable y móvil son una de las tantas ramificaciones de la televisión digital.

4. Las emisoras de televisión digital tienen que moderar la compresión respecto a que tipo de resolución de movimiento necesitan para cada programa que quieran transmitir, ya que, estos dos conceptos están directamente ligados.
5. En Guatemala no se tiene definido, ninguna estandarización para televisión digital. La legislación seguirá siendo la misma ya que el ente regulador solo vela por el buen uso de las frecuencias y no en generar obligaciones para nuevas tecnologías, esa es una particularidad en la legislación de nuestro país. Además, un problema existente de parte del espectro que maneja el ente regulador es que no existen frecuencias disponibles en UHF para que las emisoras puedan adquirir, y por ende no puede darse una transición y/o transmisión simultánea de la misma programación en canal analógico y digital.
6. Existe una emisora en el país, la cual ya posee tecnología para emitir señal de televisión digital, pues, está transmitiendo señal HDTV a manera experimental, dado que no existe ninguna normalización en el país. Sin embargo, la transición total para televisión digital en el país después de la normalización podría durar aproximadamente 10 años. Esta emisora poseía una frecuencia UHF en la cual está transmitiendo.
7. Una desventaja en la introducción de la tecnología de televisión digital es el costo de la terminal o televisor digital, puesto que, en televisores analógicos, se puede observar la programación de los canales digitales, conectándoles conversores, pero no se observará la misma calidad de imagen que en un televisor digital.
8. La señal de alta definición es una de las principales aplicaciones de la televisión digital terrenal, existen varias posibilidades de implementación combinando equipo nuevo digital con equipo analógico existente. La calidad

de imagen y sonido son, totalmente, distintas, el costo para transmisión comparado con señal de televisión digital estándar es similar.

9. Las múltiples aplicaciones que trae consigo la televisión digital terrenal son significativas entre las que podemos mencionar: HDTV, múltiples programas SDTV, recepción móvil y portátil, e interactividad.
10. La Alta Definición se observa en este momento como una prestación de lujo, pero se tendrá que ver como una herramienta necesaria para que el Radiofusor de Televisión libre y Gratuita pueda competir por sus clientes y sus anunciantes con otras plataformas que existen en nuestro país.
11. ATSC provee soluciones eficientes en Alta Definición garantizando una amplia inclusión social a través de su gran cobertura desde un transmisor principal, su compatibilidad con el Cable y receptores de bajo costo para televisores convencionales, más la transmisión de datos orientados a educación, trabajo y entretenimiento.
12. La televisión terrenal digital en el momento del cambio, debería de seguir siendo abierta en general, ya que, existe un gran porcentaje de población que vive en área rural, donde no llegan los operadores de cable, y sería una excelente fuente de información para la educación como escuelas u otras entidades afines. En el caso de operadores de cable, por ejemplo, en las ciudades, serían interesantes las ofertas en los servicios agregados que el operador podría dar y que el cliente decida si desea o no contratar los servicios agregados que le ofrecen. Igualmente, se tendría que esperar que se fije un estándar de televisión digital para las dos plataformas.

RECOMENDACIÓN

1. La tecnología de televisión digital terrenal supera, en casi todos los ámbitos, a la tecnología de televisión analógica, por lo que se espera que el medio de comunicación sea revolucionado pronto, para que sea un mejor medio de educación, información y entretenimiento para la sociedad en el país. En donde la televisión sea interactiva, en la cual el usuario pueda ya no solo observar información que el emisor le envíe, sino al contrario que el usuario pueda escoger lo que le interesa, personalizada y de la mejor calidad.

Por estas razones, se espera que, en Guatemala, en un futuro cercano pueda llegar a normalizarse hacia una tecnología y que el estado en su decisión tenga presente que sea la más conveniente, tomando en cuenta factores sociales, culturales, económicos, etc. ya que, este medio de comunicación es uno de los más importantes que llega a cada uno de los hogares guatemaltecos.

BIBLIOGRAFÍA

1. BETHENCOURT MACHADO, TOMÁS. **Sistemas de Televisión Clásicos y Avanzados**. 1ª. ed. Madrid: Ed. Departamento Publicaciones Centro de Formación RTVE, 1991. 358 pp.
2. De Boeck, W. **Aplicación de la Colorimetría a la Televisión en Color**. 1ª. ed. Madrid: Ed. Instituto Oficial de Radio y Televisión RTVE, 1990. 119 pp.
3. Hamalainen, Jukka. **“HDTV Displays” Broadcast Engineering**. Mayo: 30. 2004.
4. **Ley de Radiocomunicaciones**, Republica de Guatemala. Guatemala 1980
5. **Ley General de telecomunicaciones, Decreto 94-96 y sus reformas decretos 115-97 y 47-2002 del Congreso de la República de Guatemala**, Guatemala 1998.
6. Robin, Michael. **“Component Video Basics” Broadcast Engineering**. Montreal Canada, Febrero: 18. 2004.
7. Robin, Michael. **“Revisiting Shannon” Broadcast Engineering**. Montreal Canada, Abril: 20. 2004.
8. Robin, Michael. **“Digital Video Basics” Broadcast Engineering**. Montreal Canada, Mayo: 16. 2004.
9. Robin, Michael. **“Composite Digital Video” Broadcast Engineering**. Montreal Canada, Junio: 18. 2004.
10. Robin, Michael. **“Format Conversion” Broadcast Engineering**. Montreal Canada, December: 18. 2003.
11. Real, Bernd. **“Compression: An evolution, not a revolution” Broadcast Engineering**. Atlanta, Abril: 16. 2004.
12. Simonetta, Jose. **Television Digital Avanzada**, 1ª. ed. Buenos Aires: Ed. Intertel, 2002. 640 pp.
13. **TV&VIDEO, Latinoamérica**. Agosto, noviembre, diciembre del 1999.

E-GRAFÍA

1. <http://www.atsc.org/>
2. <http://www.citel.oas.org/>
3. <http://www.harris.com/>
4. <http://www.itu.int/net/home/index-es.aspx>
5. <http://www.fcc.gov/>
6. <http://www.sit.gob.gt/>