



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

Digitalización de las transmisiones de televisión en la ciudad de Guatemala

JUAN CARLOS ESCOBAR PAZ

ASESORADO POR ING. ENRÍQUE EDMUNDO RUIZ CARBALLO

Guatemala, octubre de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DIGITALIZACIÓN DE LAS TRANSMISIONES DE TELEVISIÓN EN
LA CIUDAD DE GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JUAN CARLOS ESCOBAR PAZ

ASESORADO POR ING. ENRÍQUE EDMUNDO RUIZ CARBALLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2004

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

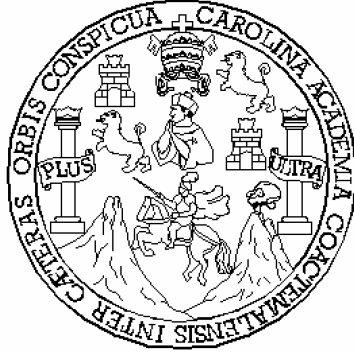
Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DIGITALIZACIÓN DE LAS TRANSMISIONES DE TELEVISIÓN EN LA CIUDAD DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica Eléctrica con fecha 11 de agosto de 2003.

Juan Carlos Escobar Paz

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
Vocal VI	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Jorge Fernando Álvarez Girón
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Córdoba Zeceña
EXAMINADOR	Ing. José Luis Herrera Gálvez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

AGRADECIMIENTOS

- A DIOS:** Por haberme dado la fuerza y la posibilidad de alcanzar un sueño más
- A MIS PADRES:** Carlos y Lety por creer en mi y apoyarme en los días y momentos difíciles
- A MIS HERMANOS:** Jorge, Evelyn y Marvin por los momentos en que pude contar con ellos.
- A MIS AMGOS:** En especial a Kerigma y Huellas de Cristo y a todos aquellos que me acompañaron en este viaje que hoy concluye, porque sin su presencia no hubiera sido lo mismo.
- A LOS CATEDRÁTICOS:** Que compartieron sus conocimientos y experiencia para formarme como profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VIII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VIII
GLOSARIO.....	XV
RESUMEN.....	XVIII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XX
1. TELEVISIÓN ANALÓGICA.....	1
1.1. Historia de la televisión.....	1
1.1.1. Televisión mecánica.....	1
1.1.1.1. Funcionamiento.....	3
1.1.2. Televisión electrónica.....	4
1.1.2.1. Iconoscopio.....	4
1.1.2.2. Tubo discretor de imágenes.....	6
1.1.2.3. Tubo de rayos catódicos.....	8
1.1.3. Televisión a colores.....	10
1.1.3.1. Transmisor a colores.....	11
1.1.3.2. Receptor a colores.....	12
1.2. Ancho de banda.....	15
1.3. Relación señal-ruido.....	19
1.4. Inmunidad a interferencia.....	26
1.5. Equipo para transmisión de televisión analógica.....	28
1.5.1. Procesador de video y audio.....	30
1.5.2. Enlace de microondas.....	30
1.5.3. Modulador de televisión.....	31

1.5.4.	Amplificador de banda.....	32
1.5.5.	Antena.....	32
2.	TELEVISIÓN DIGITAL.....	35
2.1.	Orígenes de la televisión digital.....	35
2.2.	Formatos de la televisión digital.....	38
2.3.	Compresión de imágenes	41
2.3.1.	Compresión sin pérdidas.....	43
2.3.2.	Compresión con pérdidas.....	43
2.3.3.	MPEG.....	43
2.3.3.1.	MPEG-2.....	46
2.3.3.1.1.	Métodos utilizados en el estándar MPEG....	46
2.3.3.1.1.1.	Transformada discreta de fourier (DFT).....	46
2.3.3.1.1.2.	Transformada discreta de cosenos (DCT).....	48
2.3.3.1.1.3.	Codificando de longitud variable (VLC).....	52
2.3.3.1.1.4.	Codificación Run-length (RLC).....	54
2.3.3.1.1.5.	Modulación diferencial por pulso codificado	54
2.3.3.1.1.6.	Submuestreo	55
2.3.3.1.1.7.	Recuantificación.....	56
2.3.3.1.1.8.	Tipos de compresión utilizados en MPEG-2.....	56
2.3.3.1.1.8.1.	Compresión espacial.....	57
2.3.3.1.1.8.2.	Compresión temporal.....	70

2.3.3.1.2.	Jerarquía de capas de la secuencia de video.....	74
2.3.3.1.3.	Esquematzación de los formatos de video en MPEG-2.....	77
2.3.3.1.3.1.	Escalabilidad.....	78
2.3.3.1.4.	Sistema de audio en el estándar MPEG.....	82
2.3.3.1.4.1.	Compresión por división en sub-bandas.....	82
2.3.3.1.4.2.	Compresión por transformación....	85
2.3.3.1.4.3.	Trenes elementales de audio.....	86
2.3.3.1.4.3.1.	Estructura de la capa I.....	86
2.3.3.1.4.3.2.	Estructura de la capa II.....	86
2.3.3.1.4.3.3.	Estructura de la capa III.....	87
2.3.3.1.4.3.4.	Audio en MPEG-2.....	88
2.3.3.1.5.	Estructura de transporte y multiplexión de datos en MPEG.....	90
2.3.3.1.5.1.	Flujo elemental, <i>elementary stream(ES)</i>	90
2.3.3.1.5.2.	Paquetes de flujo elementales, <i>packetized elementary (PS)</i>	90
2.3.3.1.5.3.	Transporte de Datos.....	92
2.3.3.1.5.4.	Tren de programa, program stream	92
2.3.3.1.5.5.	Tren de transporte, transport stream	93
2.3.3.1.5.6.	Multiplexión de datos.....	98

3.	TIPOS DE TELEVISIÓN DIGITAL.....	101
3.1.	SDTV.....	101
3.2.	HDTV.....	105
4.	ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL.....	109
4.1.	Advanced Television Systems Committee	109
4.1.1.	Codificación de audio AC-3.....	113
4.1.2.	Modulador 8 VSB.....	116
4.1.2.1.	Sincronización de datos.....	116
4.1.2.2.	Aleatorización de datos.....	117
4.1.2.3.	Codificador Reed-Solomon.....	118
4.1.2.4.	Intercalador de datos (<i>Data interleaver</i>).....	118
4.1.2.5.	Trellis coding.....	119
4.1.2.6.	Inserción de la sincronización.....	120
4.1.2.7.	Modulación 8 VSB.....	123
4.1.2.7.1.	Representaciones de la modulación 8 VSB.....	125
4.1.2.7.1.1.	Diagrama de ojo.....	125
4.1.2.7.1.2.	Constelación de la señal 8 VSB.....	125
4.1.2.8.	Conversión analógica.....	127
4.1.3.	Federal Communication Committee.....	127
4.2.	Digital Video Broadcasting (DVB).....	128
4.2.1.	Modulación por división de frecuencia ortogonal codificada.....	128
4.2.1.1.	Adaptación del transporte multiplexado y dispersión de energía.....	129
4.2.1.2.	Codificador Reed-Solomon.....	131

4.2.1.3.	Intercalado convolucional.....	131
4.2.1.4.	Codificador interno.....	131
4.2.1.5.	Mapeo y modulación.....	135
4.2.2.	Modulación jerárquica.....	142
4.2.3.	Adaptación del cuadro OFDM.....	144
4.2.3.1.	Pilotos de continuidad.....	148
4.2.3.2.	Pilotos dispersos.....	149
4.2.3.3.	Parámetros de señalización de transmisión (TPS).....	149
4.2.3.4.	Intervalo de guarda.....	150
4.2.4.	ETSI.....	152
4.3.	ISDB.....	153
4.3.1.	<i>Advanced Audio Coding</i> ACC.....	153
4.3.2.	Modulación OFDM por segmentos.....	156
4.3.3.	Transmisión jerárquica.....	156
4.3.4.	Codificación del canal.....	157
4.3.4.1.	Multiplexión.....	157
4.3.4.2.	Codificador externo.....	158
4.3.4.3.	Dispersión de energía.....	159
4.3.4.4.	Ajuste de retardo.....	159
4.3.4.5.	Intercalado de bytes.....	160
4.3.4.6.	Codificación convolucional.....	160
4.3.4.7.	Modulación OFDM.....	162
4.3.4.7.1.	Intercalador de bits y mapeo de datos.....	163
4.3.4.7.2.	DQPSK.....	163
4.3.4.7.3.	QPSK.....	165
4.3.4.7.4.	16 QAM.....	166
4.3.4.7.5.	Modulación 64-QAM.....	167

4.3.4.7.6.	Segmentos de datos.....	169
4.3.4.7.7.	Síntesis capa de flujo de datos.....	170
4.3.4.8.	Cuadro OFDM.....	172
4.3.4.9.	Pilotos dispersos.....	174
4.3.4.10.	TMCC.....	175
4.3.4.11.	Canal de datos auxiliares (AC).....	175
4.3.5.	Espectro de transmisión.....	175
4.3.6.	Formato de la señal de radiofrecuencia.....	176
4.3.7.	ARIB.....	177
4.4.	Comparación entre los sistemas.....	178
4.5.	Mejoras de la televisión digital con la televisión analógica.....	180
5.	EQUIPO PARA LA DIGITALIZACIÓN DE LAS TRANSMISIONES DE TELEVISIÓN.....	181
5.1.	Codificador MPEG-2.....	182
5.1.1.	Codificador de alta definición Tandberg.....	183
5.1.2.	Codificador de definición estándar Tandberg.....	185
5.1.3.	Codificador MPEG-2 SD Maestro de definición estándar.....	186
5.1.4.	Codificador MPEG-2 Thomson Broadcast System.....	187
5.2.	Modulador de canal.....	188
5.2.1.	Modulador Apex ATSC.....	189
5.2.2.	Modulador ATSC ATSC987 ABE.....	190
5.2.3.	Modulador DVB Dual 4050 AQM Wavecom.....	191
5.2.4.	Modulador COFDM DVT-T CMI.....	191
5.3.	Transmisor.....	192
5.3.1.	Transmisor de baja potencia UHF para DVB-T o ATSC R&S SV7000.....	193

5.3.2.	Transmisor DTX Advancing Broadcasting Electronics	193
5.3.3.	Transmisor de 10 kW DTV de estado sólido.....	193
5.3.4.	Transmisor Harris DTV 660 DVB.....	194
5.3.5.	Transmisor VHF DTV ATSC Harris PlantinumCD.....	195
5.4.	Antena.....	195
5.4.1.	Antena para transmisiones de DTV Jampro.....	196
5.4.2.	Antena UHF TV Alan Dick & Company.....	198
5.4.3.	Antena VHF TF-O Superturnstile.....	199
5.4.4.	Antena Jampro Batwing VHF.....	200
5.5.	Propuesta de equipo para digitalizar las transmisiones de televisión.....	200
5.5.1.	Equipo para la norma ATSC.....	201
5.5.2.	Equipo para la norma DVB.....	202
CONCLUSIONES.....		204
RECOMENDACIONES.....		205
BIBIOGRAFIA.....		206

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Sistema de televisión mecánico 1884	2
2	Iconoscopio	6
3	Construcción interna de un tubo discretor de imágenes	7
4	Tubo de rayos catódicos	9
5	Transmisor a colores	11
6	Receptor a colores	12
7	Tubo trícromo	14
8	Diagrama del ancho de banda de un canal analógico	18
9	Demodulador VSB	19
10	Espectro de la densidad de potencia del ruido blanco en la entrada del receptor	23
11	Equipo de transmisión de televisión	29
12	Transmisor de enlace de microondas	30
13	Receptor de televisión	31
14	Patrones de radiación de antenas de televisión	33
15	Figura 2.1 Diagrama de un codificador de DPCM	55
16	Generación de Frecuencias de la DCT en una matriz de 8*8 píxeles	58
17	Orden de envío de bloques que forman los macrobloques	60
18	Disposición espacial de las componentes de luminancia y crominancia utilizando un muestreo 4:2:0	61
19	Exploración de los coeficientes de un bloque de coeficientes transformados.	63

20	Ejemplo de exploración para codificar utilizando DCT	64
21	Ejemplo de codificación Run-length y VLC	70
22	Ilustración de imágenes I, P, y B	73
23	Estructura de una secuencia de MPEG	76
24	Modelo de compresión de audio Mpeg.	83
25	Muestreo de la señal de audio para ser transformada al dominio de la frecuencia	85
26	Estructura de un bloque de datos de audio MPEG -2	89
27	Creación de un <i>Transport Stream</i>	94
28	Sistema de televisión terrestre digital propuesto por Internacional Telecommunication Union, Radiocommunication Sector (ITU-R), Task Group 11/3	111
29	Diagrama de bloques de la codificación AC-3	114
30	Excitador 8VSB	116
31	Segmento de datos 8 VSB	121
32	Cuadro de datos VSB	123
33	Representación señal 8 VSB, Diagrama de ojo	125
34	Modulación 8 VSB vrs. modulación 64 QAM	125
35	Diagrama funcional de bloques del sistema DVB	129
36	Diagrama esquemático del aleatorizador	130
37	Codificador interno e intercalador	132
38	Código madre convolucional con tasa de codificación $\frac{1}{2}$	132
39	Mapeo de datos utilizando 16QAM en modulación no jerárquica	135
40	Mapeo de símbolos	136
41	Diagrama de bloques de la modulación QAM	137
42	Mapas de la modulación QPSK, 16-QAM, 64-QAM y los patrones de los bits, para modulación jerárquica y no jerárquica con $\alpha=1$	138
43	Mapas para modulación no uniforme 16-QAM y 64 QAM para un $\alpha=2$	139
44	Mapas para modulación no uniforme 16-QAM y 64 QAM para un $\alpha=4$	141

45	Mapa para modulación no uniforme y 64 QAM para un $\alpha=4$	143
46	Diagrama de bloques adaptación cuadro OFDM	144
47	Sección del proceso de codificación de canal en DVB	145
48	Marcas de sincronización DVB-T	148
49	Espectro de la señal teórica de un canal DVB de 8 Mhz. con intervalo de guarda $T_U/4$	151
50	Diagrama de bloques codificación y modulación de un canal ISDB	157
51	Paquete de transporte y de transmisión de datos utilizando MPEG-2	159
52	Intercalador utilizado en ISDB	160
53	Diagrama de generación de código convolucional utilizado en ISDB	161
54	Diagrama de bloques de modulación en DVB	162
55	Diagrama de bloques de la modulación	163
56	Modulación DQPSK con cambio de fase $\pi/4$	164
57	Cálculo de fase y mapa de modulación DQPSK con cambio de fase	164
58	Modulación QPSK en ISDB	165
59	Patrón de bits y mapeo QPSK	165
60	Modulación 16-QAM en ISDB	166
61	Patrón de bits y mapa de la modulación 16 QAM para ISDB	166
62	Modulación 64 QAM para ISDB	167
63	Mapeo modulación 64 QAM	167
64	Estructura de datos del Modo 1,2 y 3 de ISDB	169
65	Síntesis de las capas de flujo de datos	171
66	Configuración del intercalador de frecuencia	172
67	Diagrama del cuadro OFDM para la modulación diferencial	172
68	Cuadro ODFM para modulación coherente	174
69	Diagrama del espectro de un canal ISDB	176
70	Forma de del espectro de una canal ISDB	176
71	Diagrama propuesto para la transmisión de televisión digital sin modificar la producción de la estación	182

72	Diagrama de bloques del transmisor Harris DTV 660	195
73	Patrón de radiación antena UHF JUHD	197
74	Patrón de radiación antena UHF Alan Dick & company	198
75	Patrón de radiación antena VHF TF-O Superturnstile	200
76	Patrón de radiación Batwing VHF	200

TABLAS

I	Formatos de la televisión digital según el estándar ATSC	39
II	Resolución para televisión digital según la norma DVB	40
III	Codificación de diez mensajes utilizando el algoritmo shannon-fano	53
IV	Tablas de cuantización de luminancia y crominancia	62
V	Categorías y codificación de luminancia y crominancia para coeficiente de DC	67
VI	Rangos de coeficientes de AC y categorías	68
VII	Códigos VLC para uso en MPEG	69
VIII	Arquitectura MPEG-2	80
IX	Campos del encabezado de un PES de audio MPEG	89
X	Estructura de la cabecera del paquete MPEG-2	91
XI	Formatos de entrada de video estandarizados	112
XII	Patrón de perforación y secuencia de transmisión después de la conversión paralelo serial para las posibles tasas de codificación	133
XIII	Patrón de perforación y secuencia de transmisión	162
XIV	Factores de normalización para símbolos de datos	169
XV	Cuadro comparativo de los sistemas de televisión digital	179
XVI	Características antena JUHD	197

LISTA DE SÍMBOLOS

π	Pi
i	Unidad imaginaria $\sqrt{-1}$
\bar{x}	Valor medio
dt	Diferencial de tiempo
e^x	Función exponencial
Σ	Sumatoria
$\sqrt{\quad}$	Radical segundo grado
\int	Integral
A	Amplitud
AAC	Advanced Audio Coding
ACATS	Advisory Committee on Advanced Television Service
AES	Audio Engineering Society
AM	Amplitud modulada
ASI	Asynchronous Serial Interface
BNC	Bayonet-Neill-Concelman (connector)
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
DAVIC	Digital Audio-Visual Council
DCT	Discrete Cosine Transform
DSNG	Digital Satellite News Gathering
DVB	Digital Video Broadcasting
EBU	European Broadcasting Union (UER, French)
ERP	Effective radiated power (ERP)
FCC	Federal Communications Commission

FM	Frecuencia Modulada
Gn(f)	Densidad espectral de potencia
GOP	Group of Pictures
HDTV	High Definition Television
Hz	Hertz unidad de medida de frecuencia
ISDB-T	Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial
ISI	Inter-System Interface
LVDS	Low Voltage Differential Signaling
MP@ML	Main Profile at Main Level
MPEG	Moving Picture Experts Group
MUSE	Multiple-Subsampling-Encoding
NHK	Nippon Hoso Kyokai, Japan Broadcasting Corporation
NTSC	National Television System Committee
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PSI	Program specific information
RF	Radio frecuencia
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDI	Serial Digital Interface
SDTV	Standard Definition Television
SPI	Synchronous Parallel Interface
SSI	Synchronous Serial Interface
STRL	Science & Technical Research Laboratories
t	Tiempo
TTL	Transistor Transistor Logic
VLC	Variable Length Coding
VSB	Vestigial side band

GLOSARIO

Cocanal	Canal que se encuentra situado en el ancho de banda inmediatamente anterior o posterior del ancho de banda de un canal específico.
Codificación	Proceso por el cual se utiliza un sistema de símbolos los cuales representa la información que se desea enviar
Compresión	Proceso en el cual una cantidad física es representada utilizando una cantidad menor de parámetros con los cuales es posible reducir la información a ser enviada.
Conmutador	Dispositivo de contactos múltiples que permite cambiar las interconexiones de diversos circuitos.
Demodulador	Equipo que permite revertir el proceso de modulación
Enfocar	Hacer correr un sistema óptico a los largo de su eje hasta que la imagen por él dada, se forme en el punto deseado.

Interferencia	Proceso que resulta del paso de dos o más ondas por un mismo punto, en el cual se combinan o sobreponen sus efectos
Intervalo de guarda	Espacio de tiempo o frecuencia que se deja señales adyacentes que han de transmitirse para evitar interferencia.
Luminiscencia	Emisión de luz por una substancia que no se halla en estado de incandescencia.
Microondas	Onda electromagnética de longitud comprendida entre 1mm y 1 m, a cuyos límites corresponden las frecuencias de 300,000 y 30 Mhz, respectivamente.
Modulación	Operación consistente en hacer variar, con la utilización de una ley determinada, una de las características de una onda eléctrica o electromagnética.
Modulador	Dispositivo empleado en telecomunicaciones para modular una señal eléctrica.
Omnidireccional	Emisión de una señal en todas las direcciones que rodean al elemento transmisor.
Pixel	Elemento más pequeño en el que se divide una imagen en la pantalla; esta palabra es la contracción de <i>pictures elements</i>

Policroma	De varios colores
Resolución	Poder de separación de una imagen.
Transformada	Operación por la cual se cambia la representación de una señal en el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, o viceversa.
Trícromo	Utilización de tres colores para la reproducción de todos los colores mediante la combinación de estos tres colores.
Yuxtapuesto	Una cosa puesta junto a otra.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación trata sobre los aspectos de la migración de la transmisión de televisión analógica a una transmisión digital; explica los cambios técnicos en el manejo de la señal de televisión.

Se incluye una propuesta del equipo necesario mínimo para iniciar las transmisiones digitales. Debido a que no es necesario del todo que el estudio de producción sea digital inicialmente.

Existen tres tipos de estándares de televisión digital, cada uno desarrollado en distinto lugar, ellos son, el ATSC creado en Estados Unidos, el DVB realizado en Europa y el estándar Japonés ISDB-T. Se expusieron los tres estándares por la ausencia de una definición del estándar que será utilizado en Guatemala. Cada estándar esta desarrollado, con los aspectos técnicos a ser considerados en cada uno de ellos.

El diagrama del equipo a utilizar en la migración de sistema, así como propuestas de equipos comerciales se incluyen dentro de este trabajo.

OBJETIVOS

- **General**

Realizar un estudio adecuado para que cualquier canal del país pueda utilizar el presente trabajo para digitalizar sus transmisiones.

- **Específicos**

1. Establecer parámetros de televisión analógica.
2. Conocer la televisión digital.
3. Comparar las diferencia entre la televisión analógica y la digital.
4. Recomendar el equipo necesario para la transmisión de televisión digital terrena.
5. Comparar las distintas normas de televisión digital terrena.
6. Hacer recomendaciones sobre el método y equipamiento para televisión digital

INTRODUCCIÓN

En un sistema de televisión se transmite tanto sonido como video, esto lo convierte en un sistema de comunicación bastante completo. Al inicio las transmisiones de televisión eran únicamente en blanco y negro, luego sufrió una revolución y se transformó de imágenes en blanco y negro, a una imagen a color; Y en nuestra época, los sistemas de televisión están a punto de dar otro salto muy importante, el de cambiar el modo de transmisión, de un señal analógica a una señal digital.

En otros países ya se han iniciado acciones para realizar transmisiones digitales terrenas. En Guatemala, aún no se ha realizado ningún estudio para definir una norma de televisión digital, sin embargo, puede prepararse parte del equipo necesario para ser utilizado.

En el presente trabajo se realiza una evaluación técnica de las características del sistema de televisión analógica, para luego estudiar las características técnicas de la televisión digital terrena y posteriormente realiza una comparación entre los dos sistemas. Se toma en cuenta los estándares de televisión digital que existen, actualmente, para recomendar el equipo adecuado que debe tenerse para transmitir televisión digital.

1. TELEVISIÓN ANALÓGICA

Este primer capítulo servirá de introducción al mundo de la televisión analógica. Se darán a conocer datos y características muy importantes que ayudarán para comprender los cambios que se producen con el sistema digital de televisión. Se inicia con un recorrido por la historia de la televisión, luego se estudiarán las características técnicas del sistema de televisión analógica.

1.1. Historia de la televisión

La televisión inicialmente era una máquina mecánica rudimentaria que se ha desarrollado hasta convertirse en un dispositivo electrónico muy sofisticado. Para entender el desarrollo de la televisión es necesario conocer su transformación desde su inicio, por ello se presenta el siguiente tema.

1.1.1. Televisión mecánica

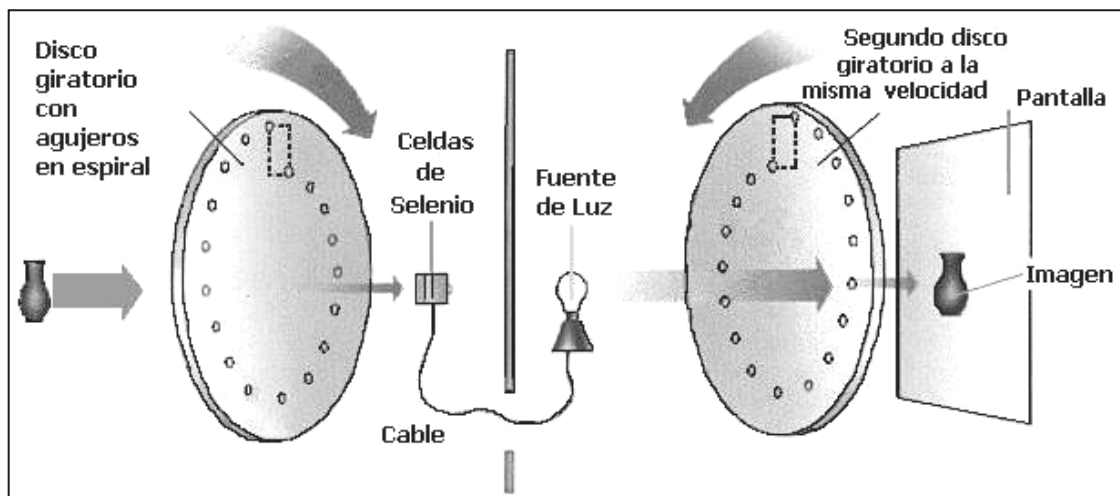
Los orígenes de la televisión se remontan a 1884, con el inventor alemán Paul Gottlieb Nipkow, quien patentó el primer sistema de captura de imágenes. Este sistema estaba compuesto por una parte mecánica y otra eléctrica.

Consistía fundamentalmente de un disco plano giratorio con agujeros, los cuales formaban una espiral, la distancia entre los agujeros se calculaba para que dos de ellos capturaran una imagen yuxtapuesta en una misma célula fotoeléctrica que retenía la imagen. Estos agujeros servían para fragmentar la imagen.

1.1.1.1. Funcionamiento

Al hacer girar el disco, la luz proveniente de la imagen, pasaba por estos agujeros y era proyectada sobre una celda de selenio. El selenio tiene la cualidad de cambiar su conductividad con la intensidad de luz que se refleja sobre él. Con esto se lograba que la imagen se convirtiera en corriente eléctrica. Dicha corriente se transmitía hacia el receptor, en el cual regulaba la intensidad de una lámpara. En el receptor también había un disco igual al del transmisor, que giraba en sincronismo con el disco del transmisor. Al pasar la luz por el segundo disco se formaba la imagen en la pantalla.

Figura 1 Sistema de televisión mecánico 1884



Fuente: *David Pérez Blanco Resumen monográfico de tubos y CCD* Escuela superior de ingenieros industriales y telecomunicaciones

Otra característica del disco de Nipkow era que la espiral estaba formada por 18 agujeros, con esto la imagen se seccionaba en 18 líneas paralelas horizontales; y era capaz de formar 4000 puntos de imagen o píxeles por segundo.

La fineza del detalle de la imagen que el sistema era capaz de producir en el eje vertical y horizontal dependía del diámetro del área cubierta por los agujeros del disco. Este era básicamente un sistema mecánico de televisión, el cual fue perfeccionado por el escocés John Logie Baird, en 1923.

Este sistema mecánico poseía algunas desventajas que lo hacían poco práctico. Necesitaba una gran intensidad lumínica para poder capturar las imágenes, y de cualquier manera las escenas se veían oscuras. Se necesitaba una velocidad de giro alta para poder tener mejor resolución. Dentro de las desventajas técnicas se encontraba la falta de una fuente de luz de alta intensidad capaz de ser modulada por una señal eléctrica de alta frecuencia requerida por la señal de video.

El disco de Nipkow fue utilizado para las primeras emisiones públicas de televisión que realizó la estación BBC de Inglaterra en 1927, por su parte en América las primeras transmisiones las realizaron las estaciones CBS y NBC en Estados Unidos en 1930. Estas transmisiones utilizaron sistemas mecánicos.

Este sistema dejó de usarse pero sirvió de base para los sistemas de televisión que actualmente existen. Su principal aporte consistió en el método utilizado para enviar una imagen a través de señales eléctricas.

Esto se realizaba convirtiendo en pequeños puntos la imagen total, este principio se sigue utilizando hasta nuestros días.

1.1.2. Televisión electrónica

La televisión electrónica fue el segundo paso que se dio en el camino para llegar hasta los sistemas que actuales de televisión. Anteriormente, pudo apreciarse que los inicios de la televisión fueron una mezcla entre mecánica y electricidad. Describiremos, enseguida, los principales inventos que permitieron el desarrollo de la televisión.

1.1.2.1. El iconoscopio

En 1931, el ruso Vladimir Kosma Zworykin inventa el Iconoscopio, este aparato era completamente electrónico a diferencia del disco de Nipkow que combinaba partes mecánicas con electrónicas. Este fue uno de los inventos que inició una gran competencia entre los inventores de esa época que estaban ansiosos por aportar algo de ellos a este campo que para esos años era muy novedoso.

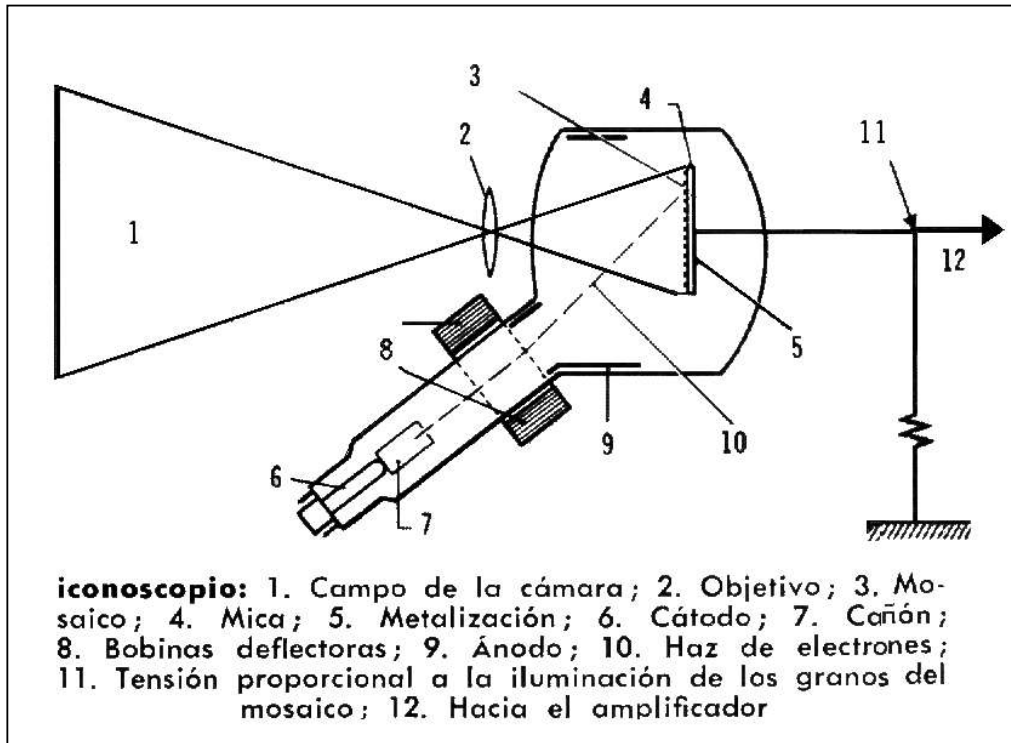
El Iconoscopio consiste en un plato con muchos puntos diminutos sensibles. Estos puntos disuelven la imagen y convierten una imagen en una matriz de elementos de la imagen o pixeles. En el año 1931, el ruso Vladimir Kosma Zworykin inventa el Iconoscopio, este aparato era completamente electrónico a diferencia del disco de Nipkow que combinaba partes mecánicas con electrónicas. El Iconoscopio consiste en un plato con muchos puntos diminutos que son sensibles a la luz. Estos puntos disuelven la imagen y convierten una imagen en una matriz de punto de la imagen o pixeles.

El plato del iconoscopio consta de una base de un material aislante (mica), sobre esta se encuentran dos caras, una frontal conformada por una matriz de gotitas de plata revestidas de un material fotosensible, que puede ser óxido de cesio o potasio. La cara posterior la formaba una capa conductora. De esta manera cada punto forma un condensador.

Un haz de electrones barre de manera sucesiva todos los puntos para cargar la cara frontal, donde se encuentra la matriz de gotas conductoras. La carga permanece solamente en los puntos donde la figura es oscura; donde la figura es brillante, provoca que se descargue, la intensidad de la luz queda registrada en el circuito eléctrico por el cual pasa una señal de amplitud modulada que permite llevar la información de la intensidad de la luz para luego ser transmitida.

El haz de electrones que barre la matriz conductora es producido por un cañón de electrones que genera un haz muy fino, este haz es direccionado por unas bobinas, lo que permite que el haz realice un barrido sucesivo por cada uno de los puntos que generan la matriz conductora de la cara frontal. Este fue el primer sistema de barrido electrónico que se inventó.

Figura 2. Iconoscopio



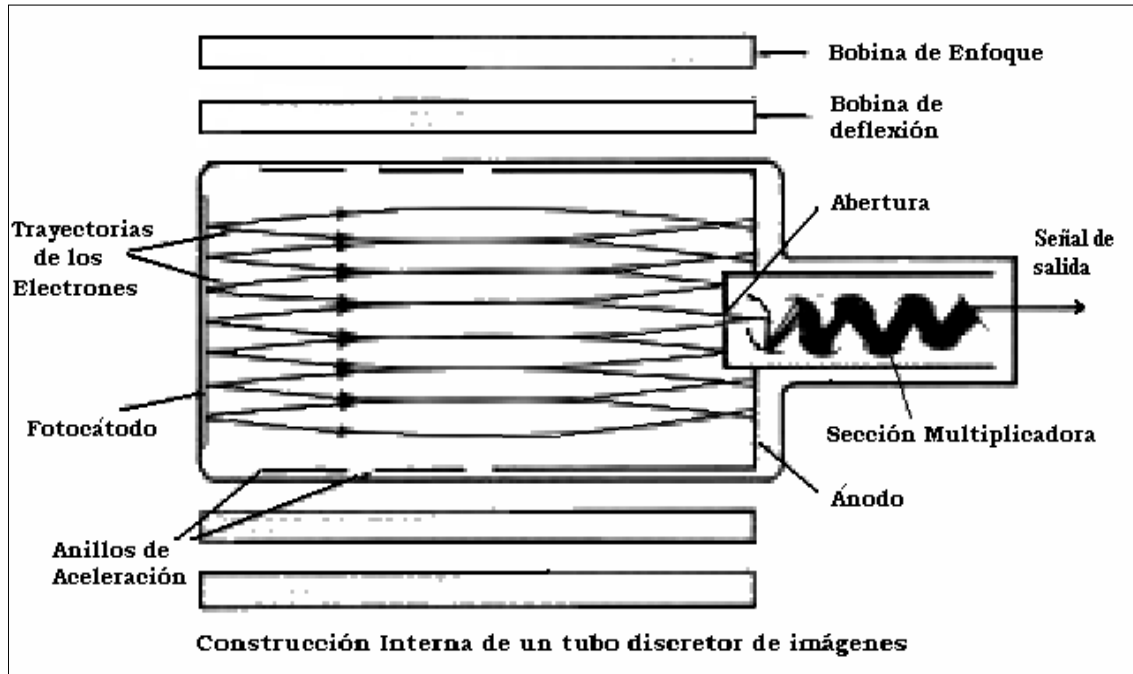
Tomás de Galliana Mingot **Diccionario técnico Larousse**. Pag.567

1.1.2.2. Tubo discretor de imágenes

Fue inventado por el más grande de los pioneros de la televisión Philo Taylor Farnsworth, nació en Utah, Estados Unidos. Este tubo proponía un cambio en la forma de explorar las imágenes; ya que con este tubo de cámara, no se realizaba la exploración de la imagen por medio de un delgado haz de electrones como en el iconoscopio.

En el tubo discretor de imágenes se producía un haz de electrones que corresponde a toda la imagen completa. Este haz deflectado para que la parte de la imagen que se exploraba pasara por una abertura que transmitía, finalmente, la señal de video.

Fig. 3 Construcción interna de un tubo discretor de imágenes



Fuente: David Pérez Blanco **Resumen monográfico de tubos y CCD** Escuela Superior de Ingenieros Industriales y Telecomunicaciones

Como puede observarse en el diagrama interno del tubo discretor de imágenes. La imagen óptica se proyectaba sobre una membrana delgada que es un fotocátodo el cual producía el haz de electrones que representaba la imagen completa. Este poseía unos anillos de aceleración formados por bobinas. El objetivo de acelerar el haz de electrones era para que pudiera llegar hasta el otro extremo del tubo. Además, el tubo completo estaba rodeado por unas bobinas que permitan deflecar al haz de electrones; y otra bobina que proporcionaba el enfoque del haz en la abertura en el otro extremo del tubo, lado derecho en este caso. Después de la abertura el haz era multiplicado para amplificar su tamaño y así poder transmitirlo; de esta forma el tubo discretor de imágenes funcionaba.

1.1.2.3. Tubo de rayos catódicos

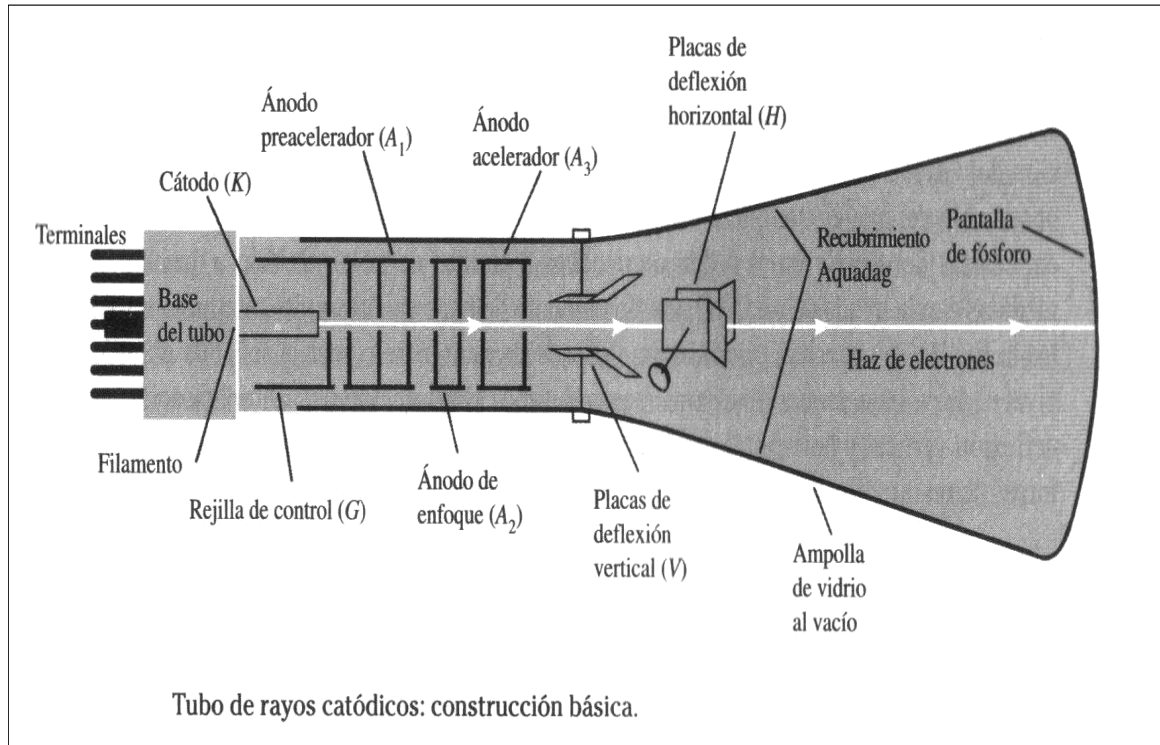
Los anteriores tubos servían para capturar imágenes sin embargo es necesario explicar cómo reproducirlas en un aparato receptor de televisión electrónico, por ello el tubo de rayos catódicos es parte importante del sistema de televisión porque permite reproducir lo que los anteriores tubo capturaban, las imágenes. El tubo de rayos catódicos fue inventado por el físico alemán Karl Braun en el año 1897; y Boris Rozing lo adapto para crear el primer televisor que utilizaba un tubo de rayos catódicos para regenerar la señal en un aparato receptor.

Un tubo de rayos catódicos genera un haz de electrones con el cual se impacta una pantalla cubierta de material fosforescente, de esta manera se convierte la señal eléctrica a una señal óptica.

Al igual que en los tubo anteriormente mencionados el haz de electrones generado realiza un barrido de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo para formar la imagen completa.

Como puede observarse en la figura 4 el rayo de electrones lleva un proceso, que inicia cuando es generado un flujo de electrones en la base del tubo, por una cañón de electrones. Este flujo de electrones debe pasar por una etapa de enfoque y aceleración para que se produzca un haz bien definido. El haz producido es dirigido por un campo vertical y uno horizontal, generados por unas placas deflectoras horizontales y verticales que permiten controlar su dirección. Finalmente, en el haz impacta en una pantalla fosforescente que se encuentra en una ampolla de vidrio al vacío, produciendo así un punto brillante.

Figura 4 Tubo de rayos catódicos



Fuente: Robert Boylestad, **Electrónica: teoría de circuitos**. Pagina 907

De la sucesión de puntos sobre dicha pantalla fosforescente se van formando las imágenes. Hay que mencionar que la intensidad con la que dicho punto brille dependerá de la información que el transmisor envíe al receptor. Con esto el tubo de rayos catódicos reproduce y reconstruye la imagen punto por punto de la misma forma que cualquier tubo mencionado anteriormente descomponía la imagen.

1.1.3. Televisión a colores

Los anteriores tubos permitían capturar imágenes para poder ser transmitidas; sin embargo, la imagen era solamente a dos colores, blanco y negro. Para transmitir a colores se construyó un tubo tricromo que lo que permitía que una imagen fuese separada no solamente en puntos pertenecientes a dicha imagen sino que también permitía la separación en tres colores básicos, cuyas mezclas generaban toda la gama de colores que se necesitan para tener una imagen a color.

Para la construcción del sistema de televisión a colores se hecho mano de algunas características de la visión humana que a continuación mencionó:

- a. El ojo no distingue el color de los detalles muy pequeños de una imagen solamente los cambios en el brillo de la imagen, es decir que el ojo no distingue los colores del gris y se comporta insensible al color cuando los detalles son muy pequeños.
- b. Puede hacerse una síntesis de los colores que puede percibir el ojo humano utilizando únicamente una combinación puntos de color rojo, azul y verde.
- c. No necesariamente los puntos que forman la imagen deben tocarse para formar una imagen que distinga el ojo.

Con estas consideraciones se realizó un sistema de televisión a colores

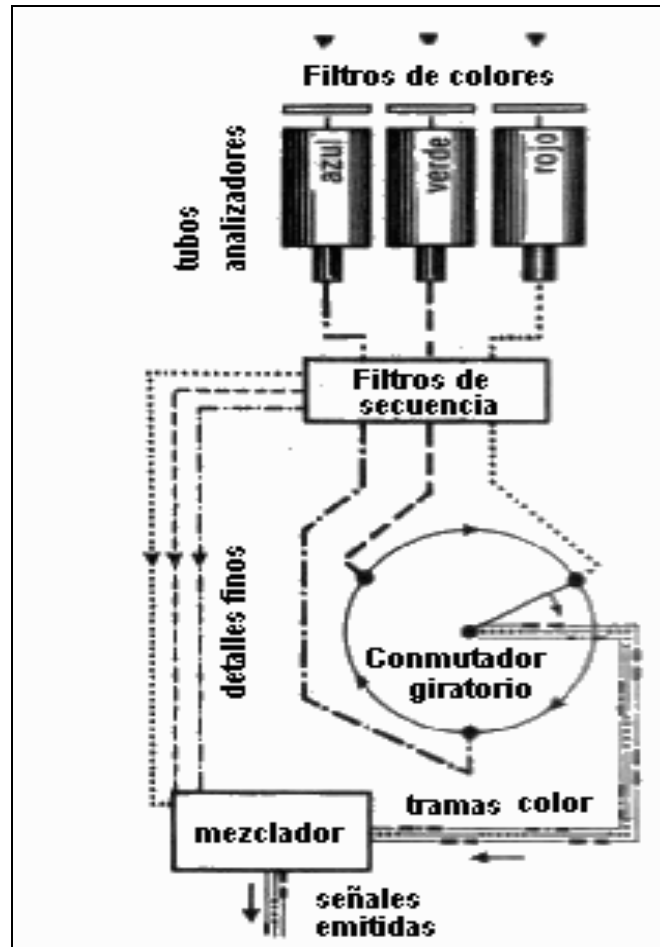
1.1.3.1. Transmisor a colores

Para realizar el sistema a colores se utilizan tres tubos analizadores cada uno con un filtro de color distinto de manera que se obtienen tres imágenes, una con de cada color de los colores principales: azul, rojo y verde, con la combinación de estos tres colores pueden sintetizarse todos los colores que el ojo humano puede percibir.

La señal proveniente de cada tubo analizador es pasada a través de un filtro pasa bajos para eliminar los componentes de la señal en la que se encuentran los detalles muy finos de la imagen, esto es porque estos no serán notados por el ojo como una señal a color, sino solamente como un contorno gris; las tres señales son llevadas hasta un conmutador electrónico.

Este conmutador forma una sola señal policroma, cada una de sus líneas es una sucesión de puntos de cada color. Debido a que los detalles finos fueron excluidos de la señal policroma, esta es sobrepuesta en la imagen.

Fig.5 Transmisor a colores

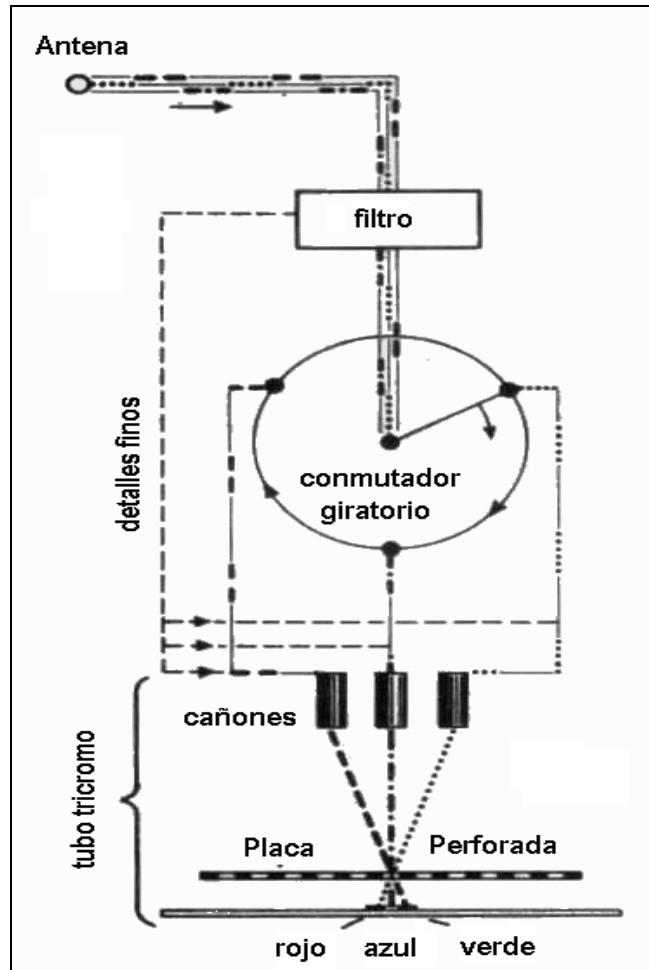


Fuente: Tomás de Galliana Mingot **Diccionario técnico Larousse**. Pag.988

1.1.3.2. Receptor a colores

En el receptor se recibe la señal proveniente de la antena luego pasa por un filtro pasabajo y pasaalto para separa la señal de los detalles finos de la señal de policroma. La señal policroma pasa por otro conmutador giratorio el cual separa la señal que se dirige a cada uno de los cañones respectivos; es decir, que envía la señal del rojo al cañón que controla la intensidad del rojo, y lo mismo con los otros colores. La señal de los detalles finos es enviada directa e uniformemente a los tres cañones de colores.

Figura 6 Receptor a colores

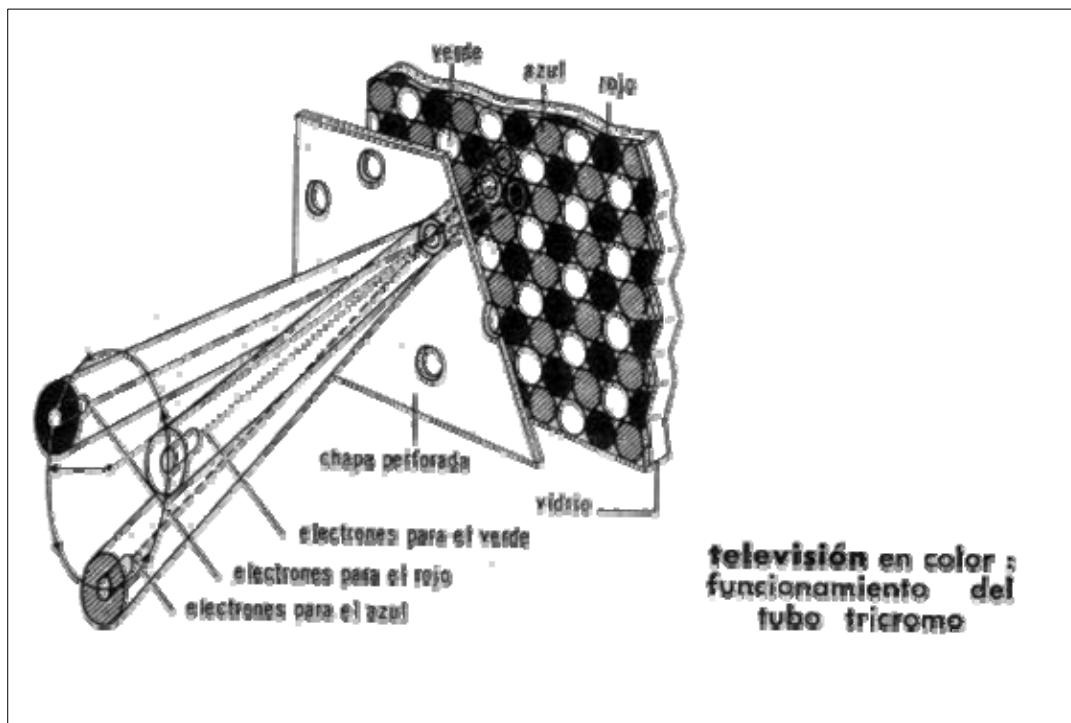


Fuente: Tomás de Galliana Mingot **Diccionario técnico Larousse**. Pag.988

Los haces emitidos por cada cañón deben atravesar una rejilla que se encuentra a 12 mm de la pantalla y esta posee uno 200,000 orificios. La pantalla esta formada por una matriz de puntos fotosensibles fabricada con distintos materiales, unos tienen una luminiscencia azul, otros roja y otras verde.

Cada orificio de la rejilla permite que solamente un juego de tres puntos de la pantalla sea alcanzado a través de él. Debido a que cada uno de los haces generados posee un ángulo distinto y convergen en la rejilla también tiene como función el no dejar que el haz correspondiente a un color impacte en un punto distinto. Por ejemplo, el cañón azul posee un ángulo con el cual puede atravesar la rejilla. La rejilla está colocada de tal forma que en un orificio específico, el haz del cañón azul impacta únicamente en el punto azul colocado en la pantalla detrás del orificio. Esto podemos observarlo en la siguiente figura donde se muestran los tres haces la rejilla y la pantalla de tres colores.

Figura 7 Tubo trícromo



Fuente: Tomás de Galliana Mingot **Diccionario técnico Larousse**. Pag.987

1.2. Ancho de banda

Para tratar el tema del ancho de banda para la transmisión de televisión análoga es necesario tomar en cuenta el origen y características de cada una de las señales que interviene en el sistema de televisión analógica, así también como la forma en que sean moduladas. Todo esto se estudiará tomando como referencia la norma NTSC debido a que esta es la que se utiliza en Guatemala.

La primera señal que interviene en televisión es la señal de audio. El oído humano es capaz de escuchar en un rango aproximado de frecuencias de 20 Hz a 20 KHz. Por ello el ancho de banda para una señal de audio es de aproximadamente 20KHz. Ya que frecuencias tanto arriba como abajo de este rango no son percibidas por el oído humano, es innecesario trasmitirlas.

Esta se modula en FM y se limita el ancho de banda de la señal de sonido de 50 a 15Khz, y tiene una desviación máxima permitida de $\pm 25\text{Khz}$ para modulación de 100 %. Pude observarse que para una estación de radio la desviación es de $\pm 75\text{Khz}$ para modulación de 100%.

Para la señal de video debemos tomar en cuenta que el ojo humano puede distinguir dos puntos próximos si estos están separados, de tal manera que formen un ángulo de visión de 1 minuto; es decir que si dos puntos forma un arco menor a un minuto el ojo los distingue como si fuesen uno solo.

Basándonos en esta propiedad del ojo, es que se definió la resolución de los sistemas de televisión analógica, que esta relacionada con la forma de onda de la señal de video que se forme y esta con el ancho de banda de la señal de video.

Una señal de video está formada por unos 400,000 puntos de imagen, la señal de video se forma con las intensidades de luz de cada punto de exploración. La máxima variación de la señal de video se produce cuando la imagen esta formada de puntos negros y blancos en forma alternada. Con esto se tendría una señal con 200,000 oscilaciones por imagen, debido al sistema de entrelazado que utiliza el sistema analógico de televisión, En cada segundo se producen 25 imágenes. la frecuencia máxima de la señal de video será:

$$F_{\max} = 200,000 \text{ puntos} * 25 \text{ imágenes} = 5,000,000 \text{ Hz} = 5 \text{ Mhz}$$

Esta señal se modula en AM para evitar las imágenes fantasmas que resultan por la propagación multitrayectoria, esto provoca que la señal llegue al receptor por diversos caminos con diferente longitud, esto causa que cada señal tenga distinta fase cuando llegan al receptor. Este efecto es mayor a altas frecuencias.

Con esto la modulación en amplitud es menor vulnerable que la modulación en frecuencia. En AM los fantasmas se mantienen estáticos, pero en FM se mueven a través de la imagen; Es decir, que el efecto no desaparece pero es menor en AM que en FM.

El color según Bernad Grob tiene tres características que especifican la información visual: la primera es su matiz o tinte, que es el color en sí mismo, por ejemplo un banano amarillo tiene un matiz amarillo.

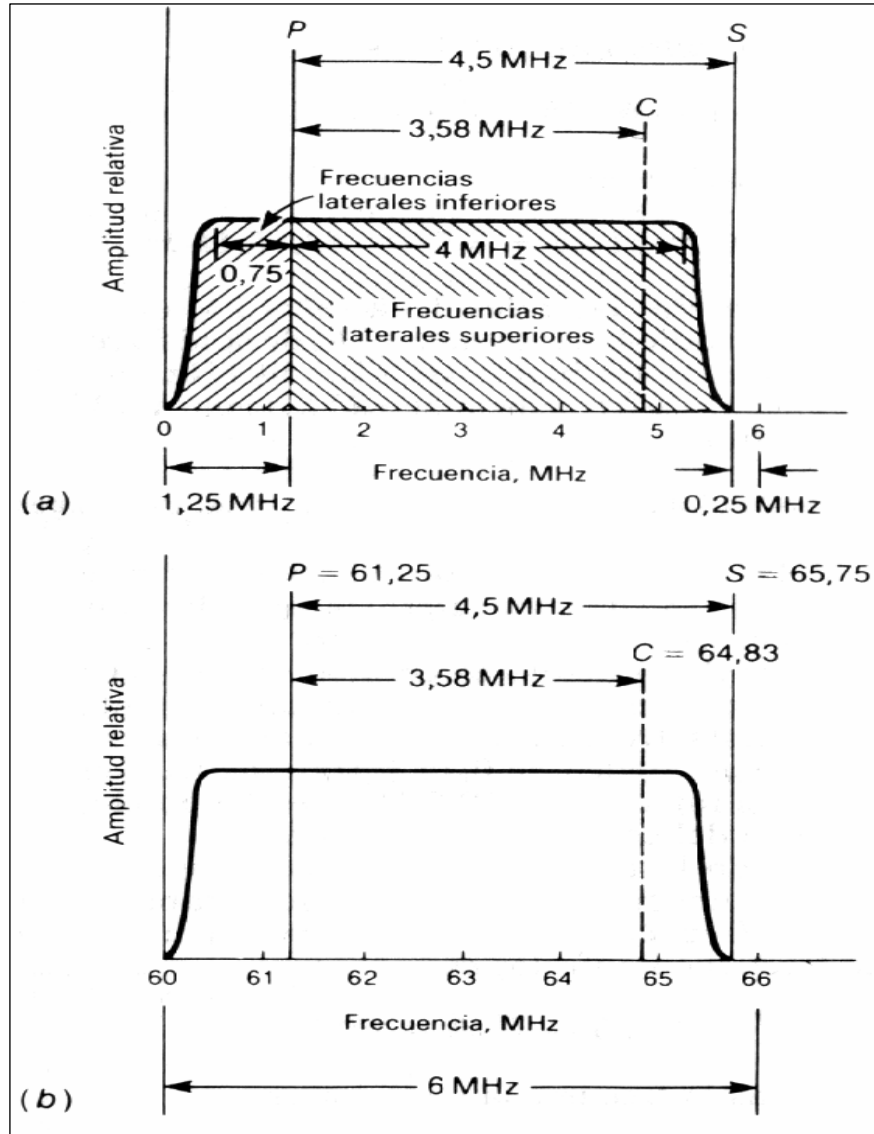
La segunda es la saturación, la cual indica como se concentra un color o cuan diluido por el blanco esta el color, por ejemplo podemos tomar al rojo intenso, este es un color saturado, por otro lado un rojo diluido resultaría en un color rosado, que es un rojo desaturado. La tercera característica es la luminancia que indica el brillo que posee una imagen, o el sombreado de gris que tendría en una imagen de blanco y negro.

Debido a esto a las señales antes descritas que son la de audio y la video se agrega la señal de crominancia que es la señal que combina dos de las características de una imagen a color, estas características son el matiz y la saturación y no se incluye la luminancia. El color en sí mismo es su matiz, o tinte. Por ejemplo un banano amarillo tiene un matiz amarillo.

La otra señal que se envía a través de un canal de televisión es la señal de crominancia, Esta señal se combina con la señal de luminancia y de saturación. Con la señal de saturación se modula en amplitud la subportadora de color y con la señal de Matiz se modula en ángulo la señal de C.

La señal de brillo o de detalles finos es utilizada para modular la señal portadora del canal, es decir es que es la señal de video. En la siguiente figura se muestra el diagrama de las frecuencias portadoras de audio video y croma para un canal de televisión analógico según el estándar NTSC.

Figura 8 Diagrama del ancho de banda de un canal analógico



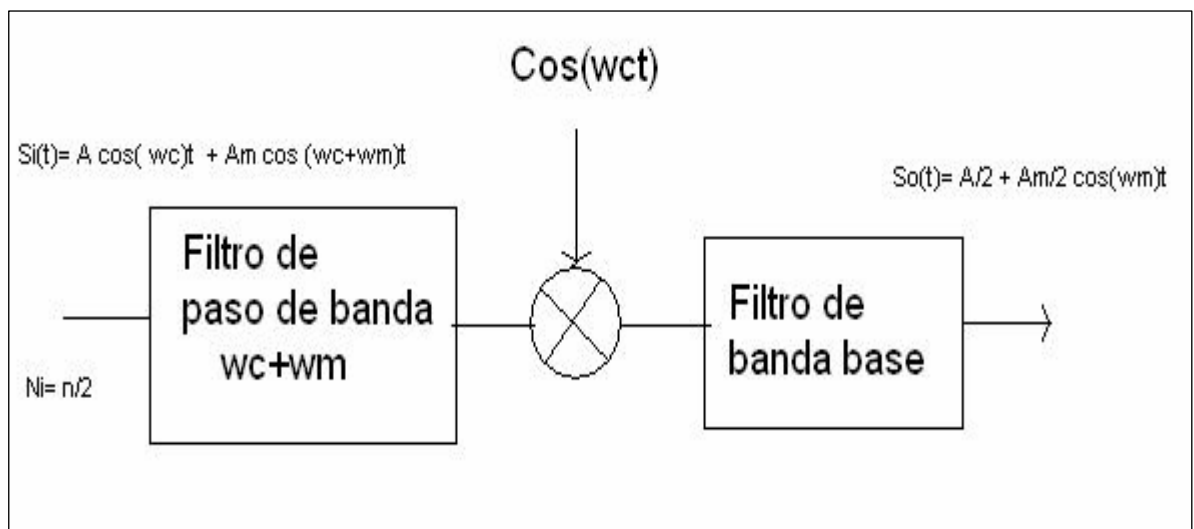
Fuente: Bernard Grob **Televisión práctica y sistemas de video**. Pag.261

- a) Distribución de frecuencias en un canal de 6MHz. Donde P es la portadora de video, C la portadora de croma y S la subportadora de video
- b) Frecuencias específicas para el canal 3.

1.3. Relación señal – ruido

La señal completa de televisión analógica es modulada en VSB (*vestigial side band*), esta modulación es una modulación de banda lateral única con la portadora incluida. Para realizar el análisis de ruido en este sistema de modulación, se utilizará únicamente el demodulador, debido a que es en el canal de comunicación donde el ruido se mezcla con nuestra señal modulada, en este caso la señal de televisión. Para poder guiar el análisis se incluye el diagrama del demodulador, este nos permitirá ver de forma gráfica el proceso de la demodulación.

Figura 9 Demodulador VSB



La señal que recibimos en la entrada del receptor es:

$$S_i(t) = A \cos(\omega_c)t + A_m \cos(\omega_c + \omega_m)t \quad (1.1)$$

De esta expresión, A_m es el valor máximo que toma la señal de mensaje y por lo tanto es igual a A que es la amplitud de la portadora. ω_c es la frecuencia de la señal portadora y ω_m es la frecuencia de la señal de mensaje.

$$Si(t) = A \cos(w_c)t + A_m \cos(w_c + w_m)t \quad (1.1)$$

La potencia de la señal de entrada puede hallarse con el valor cuadrático medio de la señal.

$$Si = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [A \cos(w_c t)]^2 dt + \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [A_m \cos(w_c + w_m)t]^2 dt \quad (1.2)$$

utilizando la identidad $\cos^2(a) = \frac{1 + \cos(2a)}{2}$ (1.3)

$$Si = \frac{A^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{[1 + \cos(2w_c t)]}{2} dt + \frac{A_m^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{[1 + \cos 2(w_c + w_m)t]}{2} dt \quad (1.4)$$

$$Si = \frac{A^2}{4\pi} [2\pi - 0 + \text{sen}(2w_c * 2\pi) - \text{sen}(0)] + \frac{A_m^2}{4\pi} [2\pi - 0 + \text{sen}2(w_c + w_m)2\pi - \text{sen}(0)] \quad (1.5)$$

$$Si = \frac{A^2}{2} + \frac{A_m^2}{2} \quad (1.6)$$

Esta señal al pasar por el multiplicador se convierte en la siguiente expresión

$$So(t) = Si(t) * \cos(w_c t) = A \cos^2(w_c t) + A_m \cos(w_c + w_m)t * \cos(w_c t) \quad (1.7)$$

Utilizando la sustitución trigonométrica:

$$\cos(a) * \cos(b) = 1/2 * [\cos(a + b) + \cos(a - b)] \quad (1.8)$$

$$S_o(t) = \frac{A}{2}(1 + \cos(2w_c t)) + \frac{Am}{2} [\cos(2w_c + w_m) * t + \cos(w_m t)] \quad (1.9)$$

Después del filtro de salida nuestra señal se reduce, debido a que el filtro elimina las componentes de frecuencia que están fuera del ancho de banda de la señal de banda base.

$$S_o(t) = \frac{A}{2} + \frac{Am}{2} \cos(w_m t) \quad (1.10)$$

La potencia de la señal de salida puede calcularse utilizando el mismo procedimiento que para la señal de entrada.

$$S_o = \left[\frac{A}{2} \right]^2 dt + \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[\frac{Am}{2} * \cos w_m t \right]^2 dt \quad (1.11)$$

$$S_o = \frac{A^2}{4} + \frac{Am^2}{8\pi} \int_0^{2\pi} \frac{[1 + \cos 2w_m t]}{2} dt \quad (1.12)$$

$$S_o = \frac{A^2}{4} + \frac{Am^2}{4\pi} \frac{[2\pi - 0 + \text{sen}(2w_m)2\pi + \text{sen}(0)]}{2} = \frac{A^2}{4} + \frac{Am^2}{4\pi} \frac{[2\pi]}{2} \quad (1.13)$$

$$S_o = \frac{A^2}{4} + \frac{Am^2}{4} \quad (1.14)$$

Utilizando la potencia de la señal de entrada podemos expresar la potencia de la señal de salida en función de la señal de entrada:

$$S_o = \frac{A^2}{4} + \frac{Am^2}{4} = \frac{1}{2} * \left(\frac{A^2}{2} + \frac{Am^2}{2} \right) = \frac{1}{2} * S_i \quad (1.15)$$

Ahora, se debe calcular la potencia de ruido en el demodulador. El transmisor nos envía la señal modulada y durante su trayectoria hasta el demodulador el ruido es agregado a la señal de mensaje, este ruido es llamado ruido blanco. El ruido blanco tiene una densidad espectral de potencia cuyo valor es:

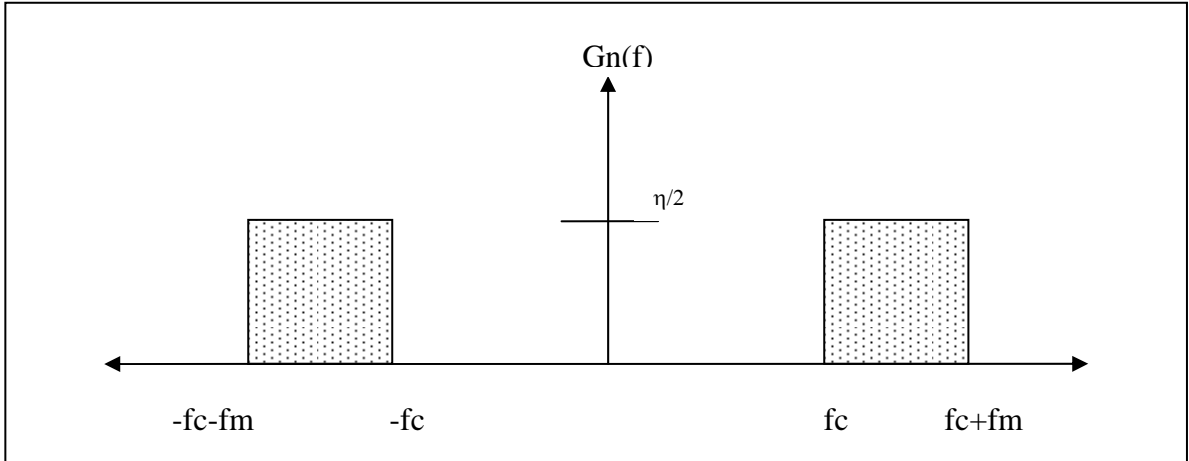
$$Gn(f) = \frac{\eta}{2} \quad (1.13)$$

En la entrada del demodulador tenemos un filtro que evita el paso de frecuencia fuera del ancho de banda de nuestra señal modulada. Por ello, solamente tomaremos en cuenta la porción del ruido que esta dentro de dicho ancho de banda, ya que el resto queda excluido por el filtro pasabanda en la entrada al multiplicador.

Para simplificar los cálculos se supondrá que todos los filtros son ideales.

En otras palabras, el ruido blanco que afectará la entrada del sistema de demodulación, será únicamente el que se encuentra en la banda de $f_m + f_c$ a f_c y $-(f_m + f_c)$ a $-f_c$. Para comprender mejor lo anteriormente dicho se muestra a continuación la grafica de las bandas en donde el ruido afecta nuestro modulador.

Figura 10 Espectro de la densidad de potencia del ruido blanco en la entrada del receptor



El modelo para este ruido es el siguiente

$$n_i(t) = n_c \cos w_c t + n_s \text{sen} w_c t \quad (1.14)$$

que además tiene las siguientes propiedades

$$n_i(t)^2 = n_c(t)^2 = n_s(t)^2 \quad (1.15)$$

Y cuyos espectros de densidad de potencia son

$$G_{n_c}(f) = G_{n_s}(f) = G_{n_i}(f_c - f) + G_{n_i}(f_c + f) \quad (1.16a)$$

En el rango de frecuencia de $|f| \leq f_m$

$$G_{n_i}(f_c - f) = G_{n_i}(f_c + f) = \frac{\eta}{2} \quad (1.16b)$$

$$G_{n_c}(f) = G_{n_s}(f) = G_{n_i}(f_c - f) + G_{n_i}(f_c + f) = \eta \quad (1.16c)$$

Al pasar el ruido por el multiplicador, se convierte en ruido modulado, creando de esta manera otras dos bandas laterales de ruido con menor amplitud de densidad espectral

$$n_o(t) = n_i(t)\cos w_c(t) = n_c(t)\cos(w_c t)\cos(w_c t) + n_s(t)\sin(w_c t)\cos(w_c t) \quad (1.17)$$

Utilizando las ecuaciones 1.8 y la siguiente identidad trigonométrica

$$\text{sen } a * \text{cos } b = \frac{1}{2} [\cos(a - b) - \cos(a + b)] \quad (1.18)$$

$$n_o(t) = n_i(t)\cos w_c(t) = n_c(t) \left(\frac{\cos(2w_c t) + \cos(0)}{2} \right) + n_s(t) \left(\frac{\cos(0) - \cos(2w_c t)}{2} \right) \quad (1.19)$$

$$n_o(t) = n_i(t)\cos w_c(t) = \frac{n_c(t)}{2} (\cos(2w_c t) + 1) + \frac{n_s(t)}{2} (1 - \cos(2w_c t))$$

Es la salida del demodulador, existe otro filtro que elimina las componente de frecuencia $2w_c$ con esto la expresión del ruido se reduce

$$n_i(t)\cos w_c(t) = \frac{n_c(t)}{2} + \frac{n_s(t)}{2} = n_o(t) \quad (1.20)$$

para calcular la potencia del ruido a la salida del demodulador se conoce que

$$\overline{n_o(t)^2} = \overline{\left(\frac{n_c(t)}{2}\right)^2} + \overline{\left(\frac{n_s(t)}{2}\right)^2} \quad (1.21)$$

$$N_o = \overline{n_o(t)^2} \quad (1.22)$$

de igual manera

$$N_c = \overline{n_c(t)^2} \quad (1.22a)$$

$$N_s = \overline{n_s(t)^2} \quad (1.22b)$$

$$\overline{n_o(t)^2} = \frac{1}{4}\overline{n_c(t)^2} + \frac{1}{4}\overline{n_s(t)^2} = \frac{1}{4}N_c + \frac{1}{4}N_s \quad (1.23)$$

$$N_c = 2 \int_0^{f_m} G_{nc}(f) df = 2 \int_0^{f_m} \eta df = 2\eta f_m \quad (1.24)$$

$$N_s = 2 \int_0^{f_m} G_{ns}(f) df = 2 \int_0^{f_m} \eta df = 2 * \eta f_m \quad (1.25)$$

$$N_o(t) = \frac{1}{4}(N_c + N_s) = \frac{1}{4}(2 * \eta f_m + 2 * \eta f_m) = \frac{\eta f_m}{2} \quad (1.26)$$

Con estos resultados puede calcularse la relación señal a ruido correspondiente utilizando las ecuaciones 1.14 y 1.26

$$\frac{S_o}{N_o} = \frac{\frac{1}{2}S_i}{\frac{\eta f_m}{2}} = \frac{S_i}{\eta f_m} \quad (1.27)$$

También esta relación puede expresarse de la siguiente manera utilizando la ecuación 1.15

$$\frac{S_o}{N_o} = \frac{S_i}{\eta f_m} = \frac{S_i}{\eta f_m} = \frac{\left(\frac{A^2}{2} + \frac{Am^2}{2} \right)}{\eta f_m} = \frac{1}{2\eta f_m} (A^2 + Am^2) \quad (1.28)$$

Con este resultado puede observarse que en el mejor de los casos la amplitud de la señal de mensaje es igual a la amplitud de la portadora. La relación señal a ruido puede mejorarse aumentando la potencia de la señal de mensaje o la señal portadora, también se mejora reduciendo en ancho de banda del canal.

1.4. Inmunidad a interferencia

La interferencia es un fenómeno en el cual un grupo de ondas de la misma frecuencia o de frecuencias muy cercanas, emitidas por dos estaciones diferentes o por la misma estación, llegan a un mismo punto en el cual existe un receptor y donde sus efectos son sumados. Dependiendo del caso en el que nos encontremos podemos definir los siguientes tipos de interferencia.

El primer tipo de interferencia es la interferencia cocanal, podemos definir un cocanal como una frecuencia utilizada por varias estaciones diferentes separadas geográficamente para cubrir distintas áreas, es decir que son estaciones locales en diferentes lugares que utilizan la misma frecuencia para transmitir, pero dado que sus áreas de cobertura son distintas no se interfieren excepto en los extremos de las áreas designadas o áreas limítrofes.

La interferencia cocanal puede notarse porque en la pantalla del televisor aparece una barra horizontal llamado efecto persiana veneciana. Estas barras las forma la mezcla que se da en audiofrecuencia entre dos señales portadoras de imagen que tienen frecuencias muy cercanas, casi iguales.

Para eliminar la interferencia cocanal se utiliza una antena más direccional en el receptor. Cuando existen estaciones cocanal normalmente estas transmiten con orientación en diferentes direcciones.

También puede darse la interferencia de un canal adyacente, los canales adyacentes son canales con frecuencia adyacentes, se aclara esto porque dentro de las frecuencias asignadas para los canales de televisión existen varias bandas y estas no necesariamente forma un espectro continuo de frecuencias.

La interferencia de un canal adyacente se presenta cuando algunas de las bandas laterales de la señal de imagen se mezclan con la portadora de imagen que se está intentando sintonizar. Es decir, se da una superposición de señales entre la estación que deseamos sintonizar y la estación que crea la interferencia.

Este fenómeno aparece en la pantalla con una imagen que se mueve transversalmente, además se presenta una barra negra vertical que la produce el borrado horizontal. La causa de la barra es la pequeña diferencia de fase entre dos señales, esto produce que la barra de borrado no este en sincronía con el receptor y esta es la barra negra que se ve, por la forma en que se mueve la barra a esta interferencia se le llama efecto limpiaparabrisas.

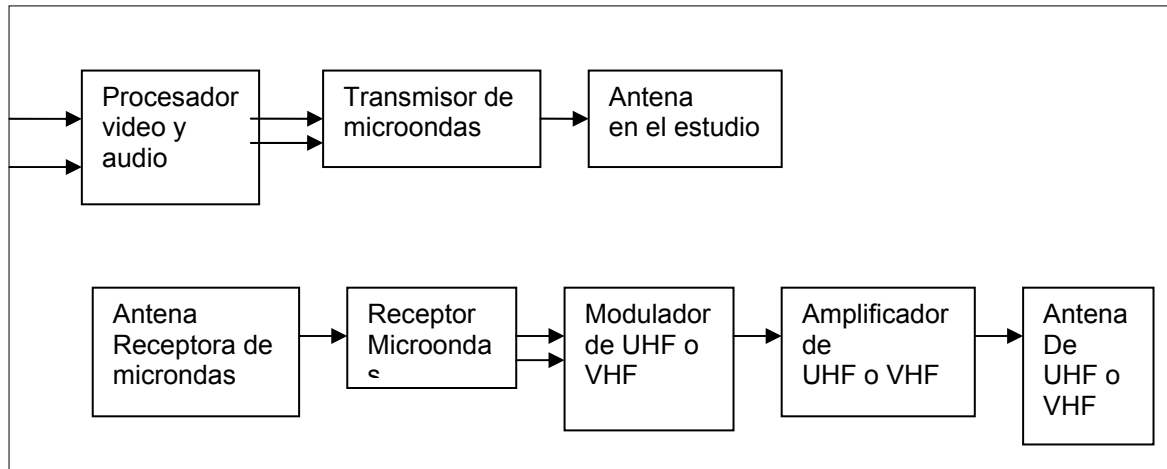
El último, caso de interferencia se produce cuando la señal que llega a nuestro receptor son producidas por una misma estación, en este caso las ondas que llegan a nuestro receptor toman caminos distintos algunas se topan con obstáculos que resultan ser reflectivos, ya que dichos obstáculos son de tamaños comparables a su longitud de onda pueden reflejar las señales portadoras. Por ello, cuando las ondas llegan al receptor llegan a tiempos distintos ya que cada una tomo distinto camino o trayectoria generando un retardo y mostrándose en la pantalla con imágenes múltiples o mejor conocidas como imágenes fantasmas.

1.5. Equipo para transmisión de televisión analógica

En esta sección conoceremos aspectos generales del equipo que se utiliza para la transmisión de televisión analógica. Debido a que en este estudio solamente se está tratando la transmisión de la señal de televisión se omiten los pasos para generar la señal producida en el estudio de televisión.

El siguiente diagrama muestra el proceso de la señal de televisión desde el estudio hasta la antena que transmite la señal hasta los receptores domésticos.

Figura 11 Equipo de transmisión de televisión



Fuente: Alfredo Fuentes Técnico de transmisiones TV USAC

Tomando en cuenta que para realizar cada parte del proceso de transmisión existe una gran diversidad de equipo disponible, y que la diferencia radica en la integración de varias partes en un solo componente se describirá los pasos que comúnmente pueden encontrarse en una transmisión de televisión.

1.5.1. Procesador de video y audio

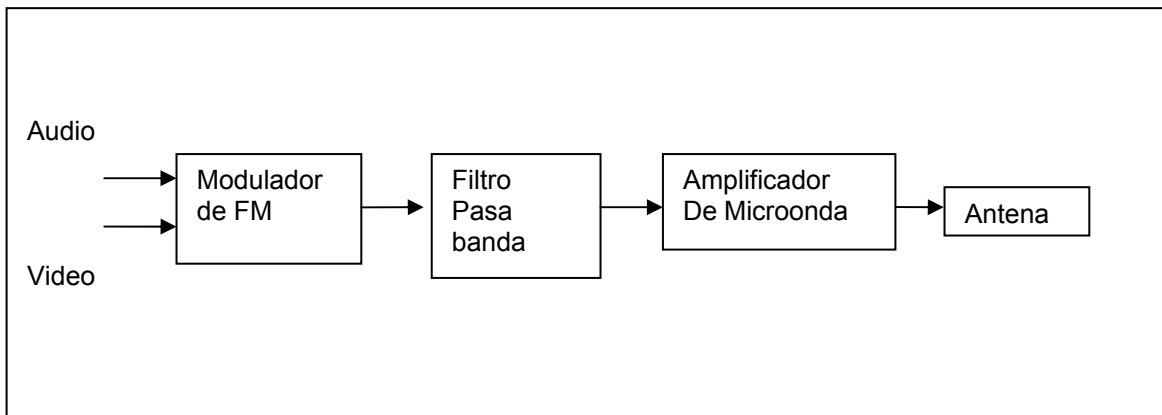
La señal a ser transmitida esta separada en señal de audio y de video, la señal de audio es entregada a un procesador de video el cual permite regenerar y reconstruir tanto la sincronización de la señal de video como el nivel de la señal de video que contiene la información de las imágenes. La señal de audio también es procesada para tener un nivel adecuado para su transmisión.

1.5.2. Enlace de microondas

Generalmente la estación no se encuentra en el mismo lugar físico en donde se encuentra el transmisor de televisión que hace posible que sintonicemos cualquier canal de televisión abierta. Es por ello que se utiliza algún medio para enviar la información tanto de audio como de video hasta el transmisor de la estación.

En la ciudad de Guatemala el método mas empleado es el enlace de microondas. Este es un enlace de punto a punto que permite enviar gran cantidad de información si vemos el caso de la televisión el la cual finalmente se transmitirá una señal de 6MHz y el ancho de banda del enlace de microondas es de aproximadamente 30Mhz.

Figura 12 Transmisor de enlace de microondas

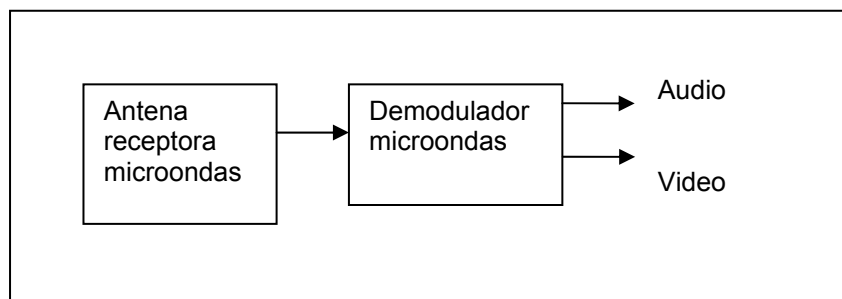


Fuente: Alfredo Fuentes Técnico de transmisiones TV USAC

En la transmisión de microondas la señal de audio y de video entran por separado, si la señal de audio es estéreo realmente se envían tres canales. El

primer paso es modular las tres señales en FM en el rango de frecuencias de las microondas, luego pasa por un filtro de pasabanda lo que evita que la señal que se transmite no afecte los canales de frecuencia contiguos al canal que utilice la estación para el enlace. La señal es amplificada y enviada a la antena transmisora ubicada en la estación de televisión.

Figura 13 Receptor de televisión



Fuente: Alfredo Fuentes Técnico de transmisiones TV USAC

1.5.3. Modulador de televisión

La señal de audio y video que obtenemos del enlace pasa por la etapa de modulación que permite que tanto la señal de audio como de video obtengan la frecuencia y modulación adecuada para ser recibida en los receptores domésticos. La señal de audio es modulada en FM y la señal de video en AM. La frecuencia del canal es asignada en Guatemala por la Superintendencia de Telecomunicaciones. El modulador trae de fábrica la frecuencia para el canal que se ha de utilizar.

1.5.4. Amplificador de banda

Este amplificador permite darle a nuestra señal modulada la potencia adecuada para llegar hasta los televisores del área que se pretenda cubrir. Este amplificador debe tener la característica de ser lineal en la banda de frecuencia en la que el canal transmite. Dichas características del amplificador son determinadas desde la fábrica de acuerdo con el canal que la estación tenga asignado.

1.5.5. Antena

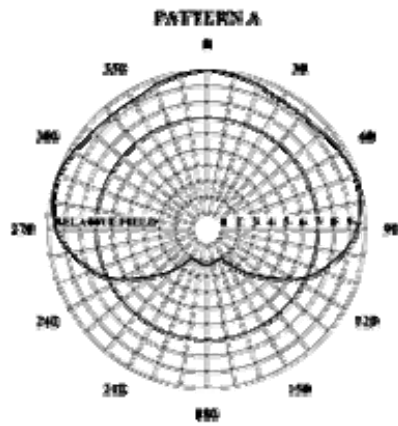
Para los sistemas de televisión que trabajan en la banda de VHF la antena básica es el dipolo de media onda. Como su nombre lo indica el tamaño de la antena dependerá de la frecuencia que se transmita a través de ella. Las antenas utilizadas en la práctica son un arreglo en un panel, el cual está dispuesto para cierto patrón de radiación.

Por ejemplo, la antena Champion de Antena Concepts presenta los siguientes patrones de radiación puede elegirse cualquiera de los cuatro diferentes patrones de radiación dependiendo de la forma del área que quiera cubrir la estación de televisión.

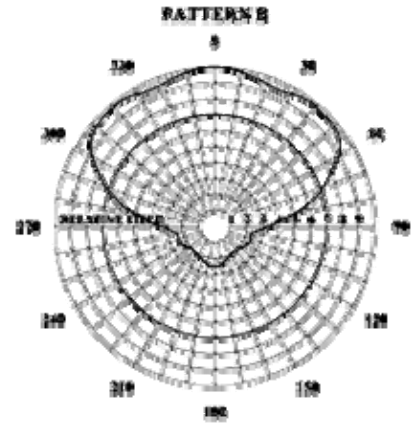
Figura 14 Patrones de radiación de antenas de televisión



A-Broad Cardioid

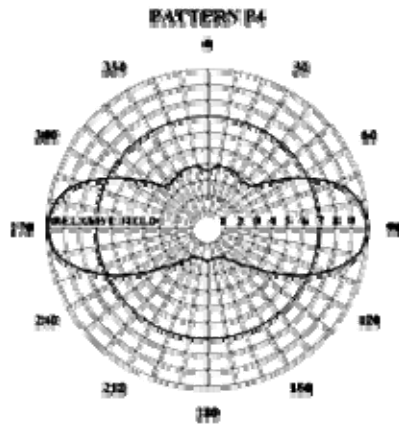


C-Cardioid

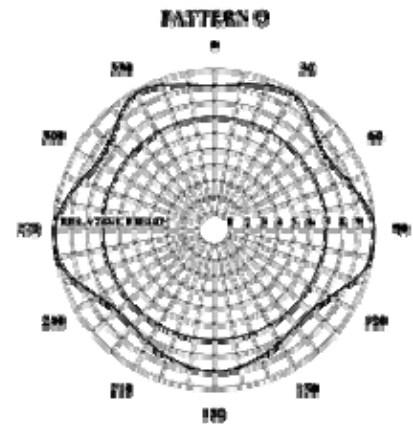


P-

Peanut



O-Omnidirectional



Fuente: Antenna Concepts

2. TELEVISIÓN DIGITAL

La televisión digital está profundamente ligada al desarrollo de la televisión de alta definición, inicialmente se hicieron trabajos para desarrollar un sistema de televisión que proporcionará la calidad del imagen que se tiene en el cine y aunque se intentó realizarlo haciendo modificaciones al sistema analógico existente, una vez mas la creatividad del hombre lo llevo a dar un paso más significativo, y lo que era una mejora a un sistema ya existente se convirtió en una transformación total del sistema de televisión.

2.1. Orígenes de la televisión digital

El desarrollo de la televisión digital tiene sus inicios en Japón, este país fue el primero en desarrollar la televisión de alta definición. Este sistema japonés era un sistema analógico y presentaba ya algunas características de la actual televisión de alta definición como lo es el uso de pantalla ancha en lugar de la pantalla en formato 4:3 que se utiliza actualmente.

En 1964 la Science & Technical Research Laboratorios (STRL) de Japón inicio las investigaciones sobre televisión de alta definición.

En 1970 la NHK (Nippon Hoso Kyokai, Japan Broadcasting Corporation) determinó un estándar provisional de 1125 líneas de exploración, 5:3 de relación ancho alto de la pantalla.

En 1981 los japoneses realizaron una exhibición de su sistema de alta definición en Estados Unidos a la sociedad *Winter Conference* en San Francisco. Luego de esta presentación en el siguiente año se realizó otra en

Washington D.C. para algunas agencias del gobierno de Estados Unidos incluyendo la Federal Communication Commission (FCC), que es la agencia encargada de las regulaciones de comunicaciones en Estados Unidos.

En 1982 la NHK inicia la investigación sobre ISDB (*Integrated Service Digital Broadcasting*), para el año de 1983 la CCIR (International Radio Consultative Committee) empieza a estudiar el ISDB. En ese mismo año en Estados Unidos fue fundada la ATSC, *Advanced Television Systems Committee*, en esta organización se reunieron corporaciones, asociaciones e instituciones educacionales para desarrollar voluntariamente estándares para el sistema avanzado de televisión que incluye la televisión de alta definición.

En 1983 se desarrolla el sistema MUSE, que es un sistema de compresión y transmisión para televisión de alta definición. En 1987 en Estados Unidos la FCC establece un comité consultivo sobre el servicio de televisión avanzada para asesorar a la FCC sobre las políticas técnicas y públicas que publicaría sobre televisión avanzada. En este mismo año se presentaron 23 propuestas al Comité Consultivo de televisión avanzada ACATS.

Por otro lado, los japoneses realizaban la primera demostración de su sistema analógico de televisión de alta definición llamado MUSE. En 1989 La NHK hace una presentación pública de ISDB. En 1990 General Instruments propone el primer sistema completamente digital de alta definición.

Un año después, en 1991 los europeos se integran al desarrollo de la televisión de alta definición y forma el *European Launching Group* ELG que inicia las conversaciones sobre el desarrollo de la televisión digital. Este grupo

es renombrado como *Digital Video Broadcasting Project* (DVB) en el año 1993. En el año 1994 el DVB adopta como esquema de modulación el 8 PSK.

De los veintitrés sistemas inicialmente propuestos en Estados Unidos para el año 1991 solamente quedaban seis los cuales fueron puestos a prueba. De estos seis sistemas dos eran analógicos y cuatro eran completamente digitales. El periodo de pruebas terminó en 1992.

En 1993 un foro especial de el Comité Consultivo de televisión avanzada de Estados Unidos (ACATS) indico a los participantes que el nuevo sistema de televisión avanzado debería de ser completamente digital y al mismo tiempo propuso que los cuatro sistemas digitales que se presentaron, se unieran para formar uno solo sistema digital ya que los cuatro tenía que implementar mejoras a sus sistemas.

En 1995 los japoneses inician experimentos sobre ISDB-T que es la emisión de televisión digital terrena, para utilizar modulación por división de frecuencias ortogonales OFDM (Orthogonal Frequency Division Modulation) para recepción móvil realizando pruebas en vehículos en movimiento. Por su parte, Estados Unidos aprueba el estándar ATSC en noviembre de 1995, y la FCC recomienda el uso de tal estándar para las transmisiones de televisión digital terrestre en Estados Unidos.

En 1996 la ATSC se convirtió en una organización internacional al trabajar con otros países del mundo para que del estándar ATSC se utilizara fuera de Estados Unidos en los servicios de televisión digital.

En 1997 Canadá y Corea de Sur adopta la norma ATSC para ser utilizada en televisión. En 1997 la FCC asignó un canal adicional de 6 MHz a aproximadamente 1,600 estaciones para ser utilizado en transmisiones digitales

y así tener ambos servicios disponibles, el de televisión analógica y televisión digital, durante este periodo de transición y así promover la televisión digital y permitir que los televidentes adquieran receptores digitales o convertidores. En ese mismo año el 28 de febrero es adoptado en Europa el estándar *Digital Video Broadcasting (DVB)* para la transmisión de televisión digital terrena. En 1998 Taiwán y Argentina adoptan el estándar ATSC.

2.2. Formatos de la televisión digital

Para tratar el tema de los formatos que están disponibles en televisión digital debemos tomar en cuenta que en el desarrollo de la televisión digital se han incluido servicios novedosos que permitirán la interacción con herramientas que ya existen como lo es Internet, es por ello que en televisión digital existen muchos mas formatos que los existen actualmente en la televisión analógica.

A ello debe sumársele el hecho de que existe más de un estándar de televisión digital, los cuales serán tratados mas adelante, a continuación se presentan las tablas de los formatos que han sugerido cada uno de los estándares existentes.

Tabla I. Formatos de la televisión digital según el estándar ATSC

Valor del tamaño Vertical	Valor del tamaño Horizontal	relación de aspecto	cuadros por segundo (Hz)	Tipo de Barrido
1080 *	1920	Muestras cuadradas	23.976Hz, 24Hz, 29.97Hz, 30Hz	Progresivo

1080	1920	(píxel) 4:3 16:9	29.97Hz, 30Hz	Entrelazado
720	1280	Muestras cuadradas 16:9	23.976 Hz, 24 Hz 29.97 Hz, 30 Hz, 59.94 Hz, 60 Hz	Progresivo
480	704	4:3 16:9	23.976 Hz, 24 Hz 29.97 Hz, 30 Hz, 59.94 Hz, 60 Hz	Progresivo
480	704	4:3 16:9	29.97 Hz 30 Hz	Entrelazado
480	640	Muestras cuadradas 4:3	23.976 Hz, 24 Hz 29.97 Hz, 30 Hz, 59.94 Hz, 60 Hz	Progresivo
480	640	Muestras Cuadradas 4:3	29.97 Hz 30 Hz	Entrelazado

*Para este valor de formato 1088 líneas son las actualmente codificadas para satisfacer el requerimiento MPEG-2 que el tamaño del código vertical sea un múltiplo de 16 en barrido progresivo o 32 en barrido entrelazado, Las 8 líneas inferiores son negras, por las reglas de MPEG.

Fuente: Tabla A3 norma ATSC DOC A/53/B

Tabla II Resolución para televisión digital según la norma DVB.

Valor del tamaño vertical	Valor del tamaño horizontal	Relación de aspecto	Frecuencia de cuadros/segundo (Hz)	Tipo de barrido
1152	1440	16:9	25	Entrelazado
1080	1920	16:9	25; 23.976;	Progresivo

			24; 29.97; 30	
1080	1920	16:9	25; 29.97; 30.	Entrelazado
1035	1920	16:9	25; 29.97; 30.	Entrelazado
720	1280	16:9	25; 50; 23.976; 24; 29.97; 30; 59.94, 60	Progresivo
576	720	4:3 16:9	50; 25	Progresivo
		4:3 16:9	25	Entrelazado
	544	4:3 16:9	25	Progresivo; Entrelazado
	480	4:3 16:9	25	Progresivo; Entrelazado
	352	4:3 16:9	25	Progresivo; Entrelazado
480	720	4:3 16:9	59.94; 60; 23.976; 24; 29.97; 30;	Progresivo
			29.97; 30;	Entrelazado
	640	4:3	59.94; 60; 23.976; 24; 29.97; 30	Progresivo
			29.97; 30;	Entrelazado
	544	4:3 16:9	23.976; 29.97	Progresivo
			29.97	Entrelazado
	480	4:3 16:9	23.976; 29.97	Progresivo
			29.97	Entrelazado
352	4:3 16:9	23.976; 29.97 29.97	Progresivo Entrelazado	
288	352	4:3 16:9	25	Progresivo
240	352	4:3 16:9	23.976; 29.97	Progresivo

Fuente: Anexo A doc. ETSI TR 101 154 V1.4.1

El estándar japonés solamente menciona que utilizará el estándar MPEG-2 para el tratamiento de la información. Los formatos MPEG-2 se muestran en la tabla VIII.

2.3. Compresión de imágenes

La compresión es el proceso que se utiliza para almacenar o transmitir cierta información sobre alguna cantidad física en un dato informático, ocupando un tamaño reducido de datos para luego poder ser reconstruido. Cualquier cantidad física necesita de un número fijo de parámetros o variables para representar su información. Este número de parámetros o variables puede ser difícil para tratar de almacenarlo o transmitirlo en forma completa. El proceso de compresión representa la cantidad utilizando un número menor de parámetros o variables de manera que puede reconstruirse con un nivel aceptable de información, eliminando parámetros que no se han de afectar de forma esencial su representación.

Una imagen de video analógica esta formada por una serie de líneas que forman un cuadro completo y una sucesión de cuadros permiten que el ojo tenga la percepción del movimiento. Al ser una transmisión digital de televisión lo primero que cruza por la mente es realizar un proceso similar al utilizado para digitalizar el audio. Es decir, utilizar esquemas de digitalización como PCM o Delta.

Sin embargo, esto representa una serie de complicaciones técnicas, que justifican el utilizar la compresión de imágenes. Si se realiza un cálculo simple lo anteriormente dicho será comprendido con mucha claridad. Suponiendo que nuestra imagen base es una señal NTSC la cual posee 525 líneas de las cuales 483 son líneas activas. Si se desea obtener una imagen de 720 píxeles y 8 bit por muestra a 13.5 Mhz. con unos 30 cuadros por segundo, se utilizan estos

valores que son los que pide la norma ITU-601 se obtienen para la señal de luminancia : $482*720*30*8=83,289,600$ bits por segundo; de la misma forma puede calcularse para la señal de crominancia que es una señal que multiplexa dos señal la U y V por ello tendríamos para la señal U: $482*360*30*8=41,644,800$ bits por segundo y para la señal V: $482*360*30*8=41,644,800$ bits por segundo. Tomando en cuenta a todas estas componentes suman la cantidad de 166,579,200 bits por segundo

Se debe tomar en cuenta que los anchos de banda de la televisión actual son muy reducidos como para manejar esta cantidad de información; sin embargo, se han desarrollado varios métodos que permiten reducir la tasa de bits que se necesitan enviar para generar un archivo de video que sea factible de utilizar en televisión digital.

Existen diferentes tipos de compresión de imágenes, las cuales serán descritas a continuación.

2.3.1. Compresión sin pérdidas

En este tipo de compresión la información original de la imagen se guarda completamente de manera que la imagen luego de haber sido comprimida y posteriormente descomprimida es igual no pierde detalle alguno; por ello presenta la desventaja de tener una baja relación de compresión. La

compresión la logran básicamente reduciendo la información de las regiones que tienen colores similares

2.3.2. Compresión con pérdidas

En la compresión con pérdidas se utiliza solamente la información necesaria para reproducir la imagen aprovechando las características del ojo humano, el cual tiene ciertas limitaciones mencionadas en la sección 1.1.3 de este trabajo.

Es decir, se elimina información de la imagen que no será percibida por el ojo humano. Con este tipo de compresión se logra mayor relación de compresión; sin embargo, a mayor relación de compresión se pierde más calidad en la imagen.

2.3.3. MPEG

MPEG es el estándar creado por la Organización de Estándares Internacionales ISO y por la Comisión Electrotécnica Internacional IEC a cargo del Moving Picture Expert Group fue creado para normalizar la compresión de programas de televisión para aplicaciones multimedia.

Este grupo de expertos de imágenes en movimiento ha creado una serie de normas y cada una tiene distinta finalidad, con cada nuevo estándar no se inutiliza el anterior sino que son compatibles y cada nuevo estándar le agrega nuevas funciones al estándar anterior. A continuación se resume cada uno de ellos.

MPEG-1 cuya nombre oficial es ISO/IEC 11172 es un estándar creado en el año 1992. El objetivo de este estándar es adecuar las señales de video para que se transmitan a una capacidad de 1.5Mbit/s. Este estándar define solamente la sintaxis de codificación, es un mezcla de la transformada discreta de cosenos y DPCM (delta pulse code modulation) con compensación de movimiento; y aunque no da un algoritmo específico de cómo realizar la compresión si tiene un esquema estructurado de la sintaxis final de la información.

MPEG-2 (ISO/IEC 13818) iniciado en 1990 este estándar incluye compresión de datos, desarrollado para realizar la compresión de imágenes de televisión con la recomendación CCIR 601 y con rangos de transmisión de datos por debajo de 10 Mbit/s, que como se analizó ya, para la digitalización de una señal de televisión se necesitan alrededor de 166 Mbps. Luego, en 1992 el estándar fue ampliado para señales de televisión de alta definición HDTV. El ISO/IEC 13818 guarda compatibilidad con el estándar ISO/IEC 111721

Para permitir el uso de distintos formatos simultáneos sin aumentar la complejidad de los sistemas se introdujo el concepto de escalabilidad el cual consiste en que la señal se transmite en varias capas y el receptor solamente utiliza las capas de información que necesite para reproducir el formato de dicho receptor, además fueron creados los ``perfiles `` y los niveles que describen la resolución, tamaño y aspecto de la imagen. Esto permite separar el MPEG-2 conforme a niveles distintos. El estándar MPEG-2 también es utilizado

en el sistema de discos de video digital DVD. MPEG-3 fue el estándar creado para estandarizar la Televisión de alta definición, sin embargo después fue añadido al estándar MPEG-2

MPEG-4 ISO/IEC 14496 para tener robustez en el traslado de información en los diversos tipos de redes que existen actualmente se creo este estándar. Además, permite que las imágenes puedan ser utilizadas para multimedia interactiva. Esto se logra por medio de la codificación de objetos audiovisuales, que es básicamente la función del MPEG-4 El principal objetivo de este estándar es tener una tasa de transferencia de datos entre 5 y 6.4 kbits/s para aplicaciones de video para teléfonos móviles PSTN y arriba de 2Mbits/s para aplicaciones de TV y cine.

MPEG-7 (ISO/IEC 15938), trata de la "Descripción del Contenido Multimedia", es una especie de fichero de información multimedia. Es decir, permite buscar una información especifica entre información multimedia digitalizada. Está en fase de prueba.

Como se ha descrito cada estándar del MPEG Moving Picture Expert Group tiene distinta función y el MPEG-2 es el estándar de compresión de video propuesto para televisión de alta definición. Las tres normas existentes para televisión digital terrestre adoptaron el MPEG-2 como su estándar de video es por ellos que a continuación se presenta la forma en que esta norma de compresión de video trabaja.

2.3.3.1. Mpeg2

El esquema o estándar de compresión MPEG-2 realmente agrupa varios métodos de compresión de imágenes y la combinación de ellos permite que sea el más eficiente; además, si consideramos que en el desarrollo del mismo el objetivo principal era su estandarización internacional, es el método de compresión que más se adapta a las necesidades de las aplicaciones de video para televisión.

2.3.3.1.1. Métodos utilizados en el estándar MPEG

Este modelo de compresión reúne varios métodos de compresión. Por ello, se tratan brevemente cada una de las herramientas que utiliza.

2.3.3.1.1.1. Transformada discreta de fourier (DFT)

Esta transformada sirve de base para la transformada discreta de cosenos que es la transformación utilizada en el estándar de compresión MPEG. Debido al amplio uso que se da a la transformada de fourier durante la carrera, a continuación se presenta brevemente en que consiste la transformada discreta de fourier que es semejante a la transformada de fourier.

La DFT (Discrete Fourier Transform) es una variación de la transformada de fourier (FT), esta se basa en la transformación de una serie de muestras que se tomen de una señal cualquiera. Dentro de los algoritmos para calcularla se encuentra la transformada rápida de fourier por sus siglas en inglés FFT.

Esta transformada esta definida de la siguiente forma

$$F_j = \sum_{k=0}^{N-1} f_k e^{-\frac{2\pi i}{N}jk} \quad j = 0, \dots, n-1 \quad \text{Ec. 2.1}$$

De la expresión anterior:

- f_k es el valor de la muestra que se toma de la señal en estudio
- F_j representa el valor transformado de la muestra que se tomó de la señal en estudio.
- N es valor de las muestras totales tomadas de la señal.
- i representa la unidad imaginaria $\sqrt{-1}$.
- j representa el número de la muestra que se está analizando

Esta transformada es lineal y reversible, permite que una señal representada en el dominio del tiempo, sea representada en el dominio de la frecuencia. Los valores de muestra de la señal, f_k , son valores complejos y los valores transformados de la señal, F_j , también son números complejos.

Utilizando la identidad de Euler $e^u = \cos u + i \operatorname{sen} u$ la expresión de la transformada rápida de Fourier puede escribirse de la siguiente forma.

$$F_j = \sum_{k=0}^{N-1} \left[\cos\left(-\frac{2\pi i}{N}jk\right) - i * \operatorname{sen}\left(-\frac{2\pi i}{N}jk\right) \right] \quad j = 0, \dots, n-1 \quad \text{Ec.: 2.2}$$

Esta transformada puede realizarse en sentido inverso, es decir, que una serie de muestras de una función cualquiera descrita en el dominio de la frecuencia, pueden trasladarse a su descripción en el dominio del tiempo, a través de la transformada inversa de Fourier, con una función muy semejante a

la transformada inversa de fourier, la transformada inversa discreta de fourier se calcula con la siguiente formula:

$$f_k = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} F_j e^{-\frac{2\pi i}{N} jk} \quad k = 0, \dots, n-1 \quad \text{Ec. 2.3}$$

2.3.3.1.1.2. Transformada discreta de cosenos (DCT)

La transformada discreta de cosenos, es una variación de la transformada discreta de fourier (FDT) y se obtiene de la siguiente forma:

- Se toman muestras de la señal, en un número suficiente de muestras para poder reconstruirla a partir de estas muestras
- Debido a que la transformada discreta de fourier esta compuesta de números complejos, y las señales que se usan para imágenes son señales reales, se realiza una expansión par de la función, es decir que se genera una copia de las muestras tomadas de la señal y se forma una señal como si se pusiera un espejo en eje de las magnitudes.
- Luego a esta expansión par se aplica la transformada discreta de fourier, al reducir los términos se eliminan todos los términos que contienen la función seno.

Basta con recordar las propiedades de la función seno. Cuando a una función seno se aplica a una función par, genera valores idénticos en magnitud para puntos a la misma distancia del eje de las abscisas pero de signo contrario, al sumar estos valores se cancelan.

$$\text{Sen} (w) = -\text{Sen}(-w) \text{ Ec. 2.3}$$

Al hacer la expansión de la señal, tenemos muestras del doble de longitud. Sin embargo, tiene la ventaja de poder eliminar las componentes complejas y así trabajar únicamente con valores reales.

Con esto la transformada discreta de cosenos se define matemáticamente de la siguiente manera:

$$f_j = \sqrt{\frac{2}{n}} C_j \sum_{k=0}^{n-1} x_k \cos \left[\frac{\pi}{n} j(k + 1/2) \right] \quad \text{Ec. 2.4}$$

- x_k es el valor de la muestra que se toma de la señal en estudio
- f_j representa el valor transformado de la muestra que se tomó de la señal en estudio.
- n es valor de las muestras totales tomadas de la señal.
- C_j es coeficiente de normalización de la transformada.
- j representa el número de la muestra transformada que se está analizando
- k es el número de la muestra en el dominio del tiempo

Esta transformada presenta sus propias características como transformada:

- Es una transformada lineal
- Es una función reversible; es decir también existe la Transformada Inversa Discreta de Cosenos.

- Esta es una función real, compuesta por un serie de números reales.

Su función inversa es la siguiente

$$x_k = \sqrt{\frac{2}{n}} \sum_{j=0}^{n-1} C_j f_j \cos\left(\frac{j\pi(k+1/2)}{n}\right) \quad K = 0, \dots, n-1 \quad \text{Ecu.}$$

2.5

- x_k es el valor de la muestra que se toma de la señal en estudio
 - f_j representa el valor transformado de la muestra que se tomó de la señal en estudio.
 - n es valor de las muestras totales tomadas de la señal.
 - C_j es coeficiente de normalización de la transformada.
 - j representa el número de la muestra transformada que se está analizando
 - k es el número de la muestra en el dominio del tiempo
- C_j toma valores según la siguiente función:

$$C_j = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & j = 0 \\ 1 & j \neq 0 \end{cases}$$

La información generada por los tubos que convierten las imágenes son señales en dos dimensiones, es decir es un plano y no funciones unidimensionales, por ello debe utilizarse la transformada de Discreta de Cosenos para señales en dos dimensiones.

$$f_{g,h} = \frac{2}{\sqrt{nm}} C_g C_h \sum_{k=0}^{m-1} \sum_{l=0}^{n-1} x_{k,l} \cos\left(\frac{g\pi(k+1/2)}{n}\right) \cos\left(\frac{h\pi(l+1/2)}{m}\right) \quad g=0,\dots,n-1 \quad h=0,\dots,m-1 \quad \text{Ec. 2.6}$$

- $f_{g,h}$ representa del coeficiente transformado correspondiente a la línea ``g`` y columna ``h`` de la matriz en el dominio de la frecuencia.
- $x_{k,j}$ es el valor de la muestra en la línea k y columna j de las muestras que se toma de la señal en estudio
- n es valor de las muestras totales tomadas de la señal.
- C_j es coeficiente de normalización de la transformada.
- j representa el número de la muestra transformada que se está analizando
- k es el número de la muestra en el dominio del tiempo

La definición matemática de la transformada inversa discreta de cosenos es la siguiente.

$$x_{k,l} = \frac{2}{\sqrt{nm}} \sum_{g=0}^{m-1} \sum_{h=0}^{n-1} C_g C_h f_{g,h} \cos\left(\frac{g\pi(k+1/2)}{n}\right) \cos\left(\frac{h\pi(l+1/2)}{m}\right) \quad k=0,\dots,n-1 \quad l=0,\dots,m-1 \quad \text{Ec.2.7}$$

- $f_{g,h}$ representa del coeficiente transformado correspondiente a la línea ``g`` y columna ``h`` de la matriz en el dominio de la frecuencia.
- $x_{k,j}$ es el valor de la muestra en la línea k y columna j de las muestras que se toma de la señal en estudio
- n es valor de las muestras totales tomadas de la señal.
- C_j es coeficiente de normalización de la transformada.
- j representa el número de la muestra transformada que se está analizando

- k es el número de la muestra en el dominio del tiempo

2.3.3.1.1.3. Codificación de Longitud Variable (VLC)

Esta codificación es utilizada para optimizar el uso de una canal de comunicaciones, permite la reducción de datos sin pérdidas de información. Con esta codificación, la longitud de las palabras utilizadas para transmitir mensajes no es uniforme, de esta forma se logra mejorar el promedio de información por bit de mensaje.

El proceso de VLC, asigna códigos de palabras corta, a valores de mensaje que se transmiten con mayor frecuencia; es decir, a los mensajes con mayor probabilidad de ocurrencia se le asigna menor cantidad de símbolos que representen dicho mensaje, y así aprovechar la mayor cantidad del ancho de banda disponible para el canal de comunicaciones.

La codificación VLC tiene como base la entropía de una fuente de información. La entropía es el promedio de información, o físicamente se refiere a la cantidad de desorden de la energía que hay en el universo. Es decir que la entropía es la medida de cuan impredecible es un sistema.

En este tema las probabilidades juegan un papel muy importante ya que al no tenerse certeza, se puede aproximarse que tan frecuente es o será un mensaje dado.

Un ejemplo de este tipo de codificación es el algoritmo de shannon-fano, si suponemos que tenemos ocho mensajes posibles con cierta probabilidad de ocurrencia dada. La tabla de mensajes y sus símbolos respectivos es la siguiente.

Tabla III Codificación de 10 mensajes utilizando el algoritmo shannon-fano.

Mensaje	Probabilidad	I	II	III	IV	V	VI
A1	1/2	0					
A2	1/8	1	0	0			
A3	1/8	1	0	1			
A4	1/16	1	1	0	0		
A5	1/16	1	1	0	1		
A6	1/32	1	1	1	0	0	
A7	1/32	1	1	1	0	1	
A8	1/32	1	1	1	1	0	
A9	1/64	1	1	1	1	1	
A10	1/64	1	1	1	1	1	0

2.3.3.1.1.4. Codificación Run-length (RLC).

Esta es una técnica de reducción de datos sin pérdidas, es utilizada cuando se repiten varias veces, de manera consecutiva un símbolo cualquiera, esta codificación cambia dicha cadena de símbolos idénticos por una sola palabra que representa que símbolo se ha de repetir y cuantas veces se repite dicho símbolo. Concretamente, esta nueva palabra incluye un encabezado de inicio y una de fin y el símbolo que se repite.

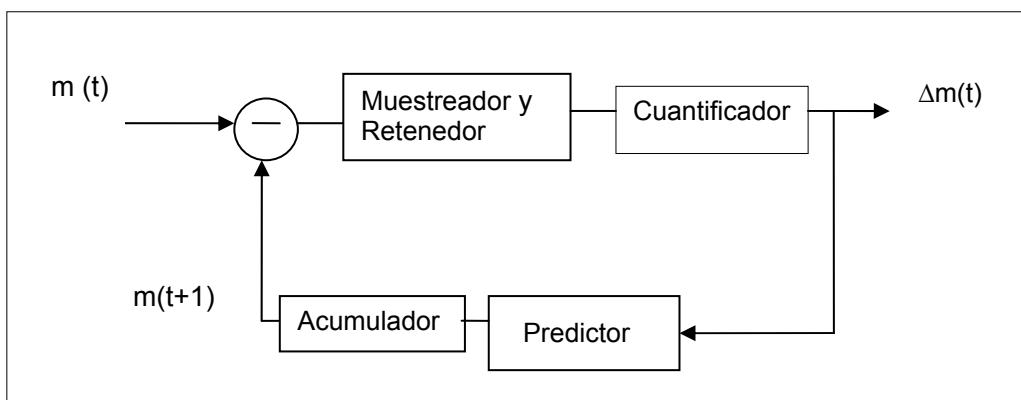
2.3.3.1.1.5. Modulación diferencial por pulso codificado

Esta modulación, llamada por sus siglas en inglés DPCM, es otra de las herramientas que se utilizan en el estándar MPEG este consiste en realizar la resta del valor de la muestra anterior con el valor de la muestra actual, la información que se codifica para ser enviada, es la diferencia del valor de las muestras.

El proceso es el siguiente, primeramente se toma una muestra de la señal que se esta utilizando y se le resta el valor de la muestra inmediata anterior, esto requiere que en nuestro generador de DPCM exista un decodificador de DPCM.

La señal de salida es la diferencia de las dos señales. Para entender este principio se presenta de manera grafica el anterior concepto.

Figura 15 Diagrama de un codificador de DPCM



2.3.3.1.1.6. Submuestreo

Esta técnica consiste en muestrear con menor frecuencia las señales de crominancia con respecto a la luminancia. Con esto se logra reducir la cantidad de información que será transportada durante la transmisión de televisión.

El fundamento para esta técnica es el hecho de que, solamente es necesario enviar la información necesaria que nuestros sentidos pueden percibir. Al no utilizar esta técnica, una imagen tendría un muestreo de 4:4:4, es decir, igual numero de muestras para la señal de luminancia (Y) y de cada una de las señales de crominancia (Cr y Cb).

Al utilizar el submuestreo puede tenerse el siguiente formato 4:2:2, para una señal se toman 4 muestreos Y por cada 2 muestreos Cr y 2 muestreos Cb. Reduciendo así la cantidad de información.

2.3.3.1.1.7. Recuantificación

En el proceso de recuantificación se establecen otro número de bits para representar cada muestra, de tal forma que a señales que los sentidos humanos perciban con menor claridad, en este caso los detalles finos de la imágenes de video, representados en los coeficientes de altas frecuencias de la DCT, pueden representarse con menor cantidad de bits, ya que no necesitan gran exactitud, debido a que el ojo humano no percibirá dichos cambios. Es

decir, se le reduce fidelidad a la imagen pero esta no será notada por el ojo humano. Este método es distinto a VLC en donde se asigna un código con menor cantidad de bits a símbolos con mayor probabilidad de ocurrencia. En la recuantificación lo que se reduce es el número de niveles o el tamaño de los pasos en que una señal determinada puede variar.

2.3.3.1.1.8. Tipos de compresión utilizados en Mpeg 2

En el estándar MPEG se utilizan tres tipos de compresión diferentes que se combinan permitiendo un porcentaje de compresión que puede variarse dependiendo de la calidad de la imagen que se necesite mantener. Las distintas formas de compresión utilizan las herramientas anteriormente descritas, es por ello que no se entrara en mayor detalle explicando de nuevo cada herramienta; sin embargo, se mostrará la forma en que se aplica cada una de ellas.

Los tres tipos de compresión que conforman este estándar son la compresión espacial, la compresión temporal y la compresión bidireccional. Cada tipo de compresión utiliza un tipo de imagen distinto para lograr la compresión. Estas imágenes pueden ser las imágenes I llamadas intracadro o *Intraframes*. Las imágenes P o cuadros predecidos *Predictive frames* y la imágenes B o cuadros bidireccionales (*Bi-directional*)

2.3.3.1.1.8.1. Compresión espacial

Esta compresión utiliza el hecho de que en ciertas áreas de una imagen, existen colores que se repiten o que tienen gran similitud. La DCT, antes vista, es una herramienta muy útil para denotar y manejar la redundancia espacial y por lo tanto para realizar la compresión espacial y de esta forma generar las imágenes tipo I.

Estas imágenes se generan siguiente el siguiente proceso:

La muestra de píxeles que forman un bloque es cuantificada y esto forma nuestra matriz de píxeles, en el dominio del tiempo. A esta matriz se le resta un valor de $-2^7 = -128$ valores de grises, esto con el fin de que los valores de la matriz queden dentro de un rango dinámico aceptable para ser procesados por la Transformada Discreta de Fourier. Esto únicamente afectará al coeficiente de DC, para ubicarlo dentro del mismo rango de los coeficientes de AC, es decir, que se realiza un desplazamiento de la componente de DC. Con este cambio el coeficiente de DC puede ser representado por los mismos 11 bits que son utilizados para los coeficientes de AC. Los coeficientes de AC se ven afectados por esta operación.

En este caso la DCT se aplica de la siguiente manera, la imagen es dividida en bloques de 8×8 píxeles. A cada bloque se le aplica la función DCT ya antes descrita. El caso particular de la DCT aplicada para generar MPEG en los bloques de 8×8 píxeles determinan la forma de la DCT; toman las siguientes variables valores específicos:

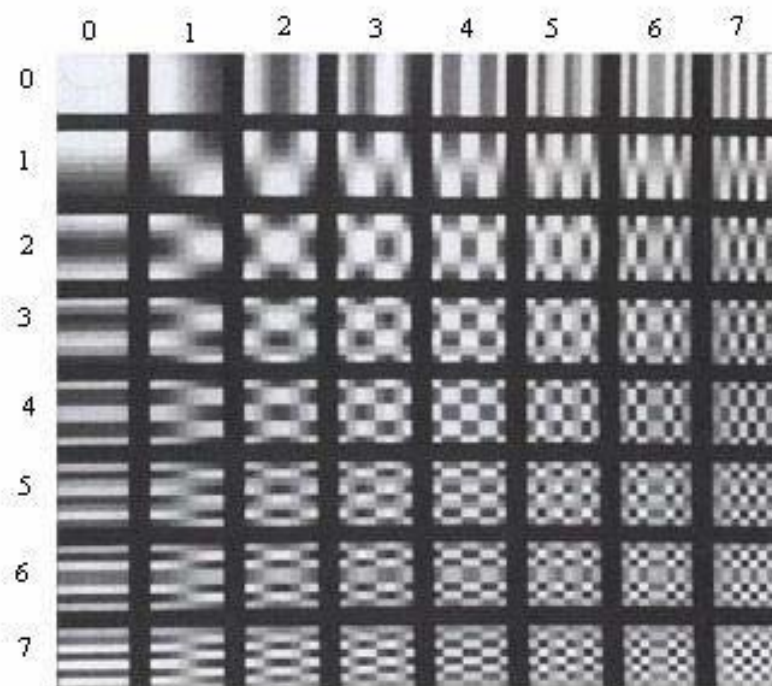
$m=8$ y $n=8$

$$f_{g,h} = \frac{2}{\sqrt{64}} C_g C_h \sum_{k=0}^{8-1} \sum_{l=0}^{8-1} x_{k,l} \cos\left(\frac{g\pi(k+1/2)}{8}\right) \cos\left(\frac{h\pi(l+1/2)}{8}\right) \quad g=0,\dots,7 \quad h=0,\dots,7$$

$$f_{g,h} = \frac{1}{4} C_g C_h \sum_{k=0}^7 \sum_{l=0}^7 x_{k,l} \cos\left(\frac{g\pi(k+1/2)}{8}\right) \cos\left(\frac{h\pi(l+1/2)}{8}\right) \quad g=0,\dots,7 \quad h=0,\dots,7 \quad \text{Ec. 2.8}$$

En la siguiente figura se muestra de forma grafica como se van generando los coeficientes de la DCT y sus respectivas frecuencia.

Figura 16 Generación de Frecuencias de la DCT en una matriz de 8*8 píxeles.



En la figura superior se muestra una matriz de coeficientes de DCT, por la fórmula de DCT, se puede observar que a medida que cada coeficiente se aleja del primer elemento de la matriz, las frecuencias de cada coeficiente aumenta. Por ello en la primera columna solo existen frecuencias verticales y en la primera fila solamente frecuencias horizontales. El ultimo termino de la matriz contiene las frecuencias mas altas.

Fuente: Ing. Roberto Lauro. **Cuaderno Técnico No 4 Redundancia Espacial** Pág. 14

Como puede verse en la figura anterior, las barras negras representan las frecuencias que intervienen en cada coeficiente. Con esto puede notarse que el primer elemento de la matriz de coeficientes de DCT, el elemento 0,0, es una componente de DC, dado que no contiene ninguna frecuencia. Cada coeficiente que se alejan de este primer elemento, contiene mayores frecuencias; tanto frecuencias horizontales como las frecuencias verticales.

Con las mismas condiciones que para la DTC la función para la transformada inversa se define como:

$$x_{k,l} = \frac{2}{\sqrt{8*8}} \sum_{g=0}^{8-1} \sum_{h=0}^{8-1} C_g C_h f_{g,h} \cos\left(\frac{g\pi(k+1/2)}{8}\right) \cos\left(\frac{h\pi(l+1/2)}{8}\right) \quad k = 0, \dots, 8-1 \quad l = 0, \dots, 8-1$$

$$x_{k,l} = \frac{2}{8} \sum_{g=0}^7 \sum_{h=0}^7 C_g C_h f_{g,h} \cos\left(\frac{g\pi(k+1/2)}{8}\right) \cos\left(\frac{h\pi(l+1/2)}{8}\right) \quad k = 0, \dots, 7 \quad l = 0, \dots, 7 \quad \text{Ec.}$$

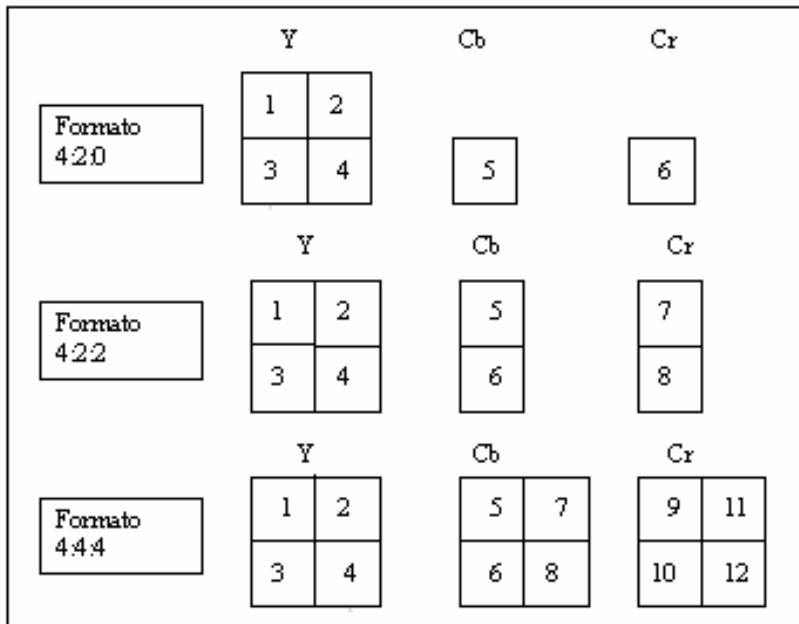
2.8

En general, en el proceso de la DCT, en cada bloque de píxeles se trabaja por separado los datos de luminancia (Y) y de crominancia (Cr, Cb); es decir, de un bloque de imagen de 8*8 píxeles generamos tres bloques de coeficientes transformados, uno de luminancia (Y), más los dos restantes de crominancia Cb y Cr.

Los bloques forman los llamados Macrobloques. Los macrobloques son la unión de 4 bloques de píxeles Cada macrobloque esta formado por 16*16 píxeles y la cantidad de bloques de crominancia la fija la clase de muestreo que se utilice. Ver técnica de submuestreo sección 1.2.1.5.6. del presente trabajo.

Pueden presentarse los siguientes casos, los formatos de muestreo son los siguientes 4:2:0, 4:2:2 y 4:4:4. Dependiendo del formato que se este utilizando y dentro de los lineamientos del estándar MPEG, los bloques de cada formato, que forman un macrobloque que es enviado en el siguiente orden:

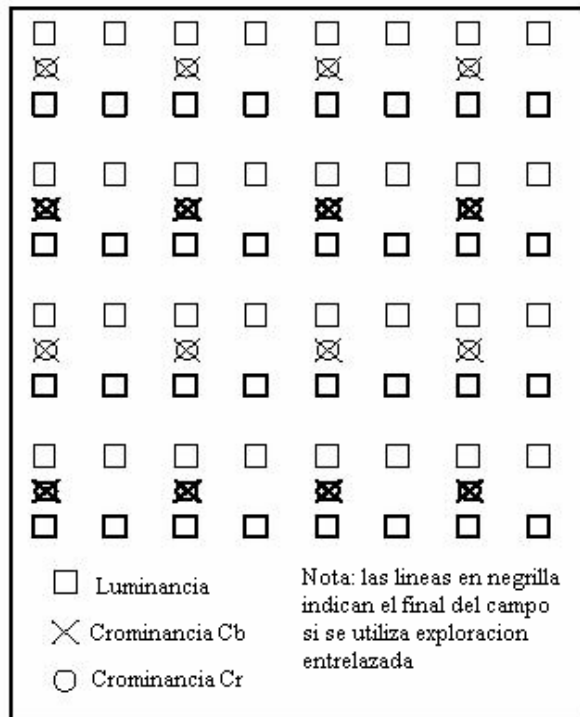
Figura17 Orden de envió de bloques que forman los macrobloques



Fuente: Ing Roberto Lauro. **Cuaderno técnico No.4 Redundancia Espacial** Pág. 11

Como ejemplo puede tomarse un muestreo de 4:2:0, en este caso la distribución espacial de los bloques se muestra la siguiente figura. Por cada cuatro bloques de luminancia existe un bloque de crominancia Cr y uno de crominancia Cb, estos están localizados en el mismo lugar.

Figura 18 Disposición espacial de las componentes de luminancia y crominancia utilizando un muestreo 4:2:0.



Fuente: **Guide to the Use of the ATSC Digital Television Standard**, Doc. A54 ATSC. Pág. 21

La DCT aprovecha la correlación espacial devolviendo un conjunto de coeficientes independientes. La mayor parte de la energía de los coeficientes de la DCT se concentra en los coeficientes de baja frecuencia. Por ello, los coeficientes pasan por el proceso de recuantificación, para lo cual se utiliza una matriz de cuantificación, esta matriz indica el valor por el cual cada coeficiente es dividido, luego el resultado se redondea al entero más cercano, esto se hace con el propósito de ponderar más los coeficientes de baja frecuencia que son los que poseen la mayor cantidad de información de la imagen, y ponderar de menor manera los coeficientes de alta frecuencia, ya que la distorsión de estos últimos es apenas percibida por el sistema de visión humana.

Las tablas de cuantificación, están normalizadas en función de la respuesta del ojo humano. Existe una tabla para la luminancia y otra para la crominancia.

Como puede notarse los coeficientes de mayor frecuencia tienen valores más altos y los de menor frecuencia se dividen por números más pequeños; esto permite que los pasos de las frecuencias bajas sean más pequeños y los pasos de las frecuencias altas sean más grandes, esto es semejante a la utilización de la compansión en PCM.

Tabla IV Tablas de cuantización de luminancia y crominancia

16	11	10	16	24	40	51	61	17	18	24	47	99	99	99	99
12	12	14	17	26	58	60	55	18	21	26	66	99	99	99	99
14	13	16	24	10	57	69	56	24	26	56	99	99	99	99	99
14	17	22	29	51	87	80	62	47	66	99	99	99	99	99	99
18	22	17	56	68	109	103	77	99	99	99	99	99	99	99	99
24	35	55	64	81	104	113	92	99	99	99	99	99	99	99	99
49	64	78	87	103	424	120	101	99	99	99	99	99	99	99	99
72	92	95	98	112	100	103	99	99	99	99	99	99	99	99	99

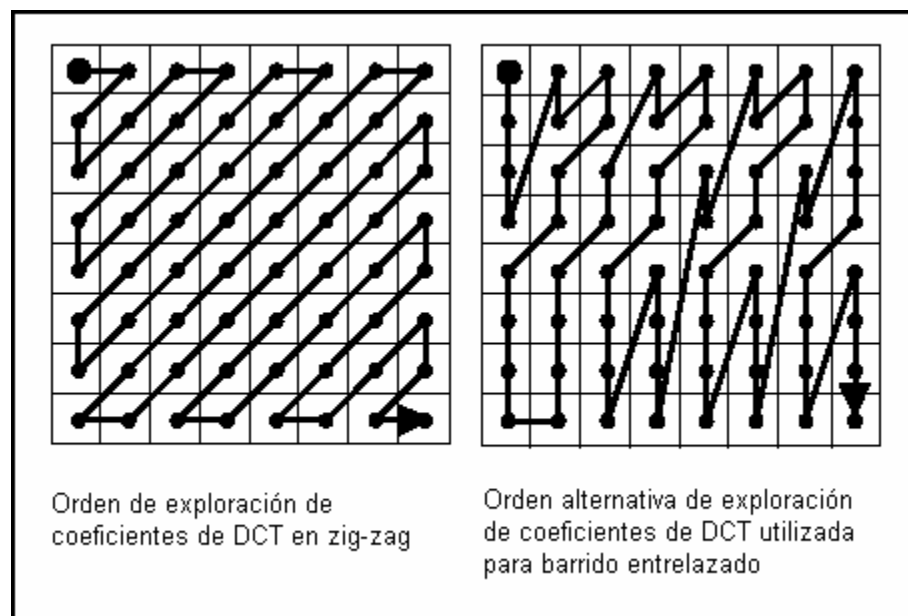
Matriz de cuantización de Luminancia Matriz de cuantización de Crominancia

Fuente: Ing. Roberto Lauro **Cuaderno Técnico No.4 Redundancia Espacial**. Pág. 20

Hay que notar que solamente con la DCT no se logra comprimir la información de video, porque cada coeficiente necesita varios bits para ser representado; sin embargo, cuando la DCT se ha aplicado, la compresión real, se logra cuando aplicamos la codificación Run-length, esto permite manejar las largas cadenas de cero que genera la DCT junto con la recuantización de los coeficientes.

Sin embargo, el primer coeficiente de cada bloque es procesado de manera distinta. Primero se aplica la DPCM con el coeficiente de DC del bloque anterior y luego se aplica la codificación Run-length y la codificación VLC. Para aprovechar de manera eficiente la codificación run length, la exploración de los coeficientes sigue un patrón en zig-zag en el caso de esta utilizando el barrido progresivo y utiliza otro patrón en el caso del barrido entrelazado, como muestra la siguiente figura.

Figura 19 Exploración de los coeficientes de un bloque de coeficientes transformados



Fuente: **Guide to the Use of the ATSC Digital Television Standard**. Doc. A54 Pág. 57.

La codificación run-length en MPEG se utiliza de la siguiente manera:

EOB significa fin del bloque, *End of Block*, indica que todos los coeficientes que siguen son cero hasta el final del bloque.

Como puede notarse existen largas cadenas de ceros entre los coeficientes distintos de cero, para eliminar estas largas cadenas es que se aplica la codificación run-length

Utilizando run-length la cadena se reduce considerablemente, y solamente queda lo siguiente.

36	0,4	0,6	3,3	0,26	5,1	11,1	9,1	EOB
----	-----	-----	-----	------	-----	------	-----	-----

El primer número es el valor del coeficiente de DC del bloque actual menos el valor del coeficiente de DC del bloque anterior

$$56-20= 36$$

De la primera pareja de números 0,4 el cero indica que no existen ceros entre el primer coeficiente y el segundo coeficiente cuyo valor es cuatro. Para la segunda pareja 0,6 tenemos el mismo caso, el cero indica que entre el coeficiente distinto de cero anterior(4) y el actual coeficiente distinto de cero(6), no existen coeficiente con valor cero, el seis es el valor del coeficiente actual.

Sin embargo para la tercera pareja 3,3, el primer tres significa que existen tres cero entre el coeficiente anterior con valor distinto a cero (seis) y el coeficiente con valor distinto a cero siguiente (tres), el segundo tres indica el valor del actual coeficiente distinto de cero.

De esta forma se siguen formando cada una de las parejas. Cuando se encuentra el último coeficiente distinto de cero, el siguiente símbolo será EOB que indica el fin del bloque.

Como puede observarse con la aplicación de la codificación Run-Lengh se genera un código que cambia las cadenas de ceros generados por la DCT y la matriz de cuantificación, quedando únicamente los valores de los coeficientes distintos de cero. Después de este proceso, se aplica la codificación de longitud variable VLC.

Esta codificación se forma de dos partes: categorías y amplitudes.

Categoría	Amplitud
-----------	----------

Además, existen varias tablas para la realización de la codificación VLC con las cuales se forma el código binario que, finalmente se utilizará este código se genera tomando en cuenta la codificación run-length.

El primer término que hay que codificar es el coeficiente de DC. Debe conservarse el formato presentado anteriormente para la codificación VLC; se utiliza una primera tabla para asignar la categoría del coeficiente de DC, según el valor del coeficiente de DC se le asigna una categoría, a cada categoría le pertenece un código binario, este código binario es distinto para los de luminancia y crominancia. Para los bloques de crominancia Cb y Cr se utiliza la misma tabla.

Tabla V Categorías y codificación de luminancia y crominancia para coeficiente de DC

Valores de DC diferenciales	Categorías	Código de luminancia	Código de crominancia
-255 a -128	8	1111 110	1111 1110
-127 a -64	7	1111 10	1111 110
-63 a -32	6	1111 0	1111 10
-31 a -16	5	1110	1110 0
-15 a -8	4	110	1110
-7 a -4	3	101	110
-3 a -2	2	01	10
-1	1	00	01
0	0	100	00
1	1	00	01
2 a 3	2	01	10
4 a 7	3	101	110
8 a 15	4	110	1110
16 a 31	5	1110	1111 0
32 a 63	6	1111 0	1111 10
64 a 127	7	1111 10	1111 110
128 a 255	8	1111 110	1111 1110

Fuente: Roberto Lauro. **Cuaderno Técnico no. 4 Redundancia Espacial** Pag 20

Si siguiendo con el ejemplo el valor del coeficiente de DC es 36 y por ello pertenece a la categoría 6 cuyo código para luminancia es 1111 0 si la matriz perteneciera a coeficientes de crominancia el código sería 1111 10.

El código binario para la parte de Amplitud, es el valor del coeficiente en número binario, en este caso 36, 100100

Para los coeficientes de AC existe otra tabla para asignar la categoría de los coeficientes, esta categoría se asigna según el valor del coeficiente, de la misma manera que para los coeficientes de DC.

Tabla VI Rangos de coeficientes de AC y categorías

Rangos de coeficientes de AC y categorías

Categorías	Rango de coeficiente
NA	0
1	-1, 1
2	-3,-2, 2,3
3	-7,...,-4, 4,...,7
4	-15,...,-8, 8,...,15
5	-31,...,-16, 16,...,31
6	-63,...,-32, 32,...,63
7	-127,...-64, 64,...,127
8	-255,...,-128, 128,...,255
9	-511,...,-256, 256,...,511
10	-1023,...,-512, 512,...,1023
11	-2047,...,-1024, 1024,...,2047

Fuente: Roberto Lauro Cuaderno Técnico no. 4 Compresión Espacial Pág. 20

La tabla anterior se utiliza en conjunto con la siguiente tabla la cual no da el código de la categoría que se esté utilizando. Para definir el código binario se combina la categoría a la que pertenece y el run de la codificación anterior.

Para la primera pareja del ejemplo (0,4) el valor del coeficiente es 4, eso lo coloca en la categoría tres y el *run* posee un valor igual a cero. Con esta información buscamos en la siguiente tabla el código binario correspondiente a esta pareja.

Tabla VII Códigos VLC para uso en MPEG

Zero Run	Categoría	Largo del código	Palabra código
0	1	2	00
0	2	2	01
0	3	3	100
0	4	4	1011
0	5	5	11010
0	6	6	111000
0	7	7	1111000
:	:	:	:
1	1	4	1100
1	2	6	111001
1	3	7	1111001
1	4	9	111110110
:	:	:	:
2	1	5	11011
2	2	8	11111000
:	:	:	:
3	1	6	111010
3	2	9	111110111
:	:	:	:
4	1	6	111011
5	1	7	1111010
6	1	7	1111011
7	1	8	11111001
8	1	8	11111010
9	1	9	111111000
10	1	9	111111001
11	1	9	111111010
:	:	:	:
End of Block (EOB)		4	1010

Fuente: Roberto Lauro. **Cuaderno Técnico no. 4 Compresión Espacial** Pág. 15

Dicho código binario es 1011. Para completar el código VLC solo hace falta el código para la amplitud. Este código, al igual que para el coeficiente de DC, es el valor del coeficiente en el sistema binario. Para este caso el coeficiente tiene un valor de 4 que en binario es 100. Siguiendo el mismo procedimiento para la cadena codificada se forma la siguiente secuencia.

Figura 21 Ejemplo de codificación Run-length y VLC

Run-length	VLC		Codigo Binario	
	Categoria	Amplitud	Categoria	Amplitud
36	6	36	1111 0	100100
0,4	3	4	100	100
0,6	3	6	100	110
3,3	2	3	111110111	11
0,26	5	26	11010	11010
5,1	1	1	1111010	1
11,1	1	1	111111010	1
9,1	1	2	111111000	10
EOB			1010	

Como puede notarse son relativamente pocos bits los que finalmente se necesitan para representar un bloque de luminancia; con esto proceso se logra un nivel de compresión que realmente no es tan grande, ya que un bloque solamente representa 64 pixeles.

2.3.3.1.1.8.2. Compresión temporal

La compresión temporal está basada en el concepto de redundancia temporal, que al igual que la redundancia espacial, se refiere a información que se repite y que puede ser codificada de tal forma que pueda reducirse el tamaño del espacio que se necesita para guardar la misma información. Sin embargo, la redundancia espacial se centra en las secciones de un cuadro de video que se repiten en cuadros adyacentes.

Por ejemplo, si el video contiene la toma del movimiento de un automóvil a través de una calle. Los datos que forma el entorno de la calle serán prácticamente los mismos entre cuadro y cuadro.

Pero gran parte de los bloques que forma el automóvil en movimiento serán los mismos entre cuadro y cuadro con la diferencia que aparecerán en distinta posición

La compresión temporal utiliza dos herramientas, la primera es la predicción intercuadros que reduce la redundancia temporal y las partes de la imagen que son distintas entre dos cuadros adyacentes son codificadas utilizando la DCT y sus herramientas para reducir la redundancia temporal.

La predicción es la primera herramienta utilizada en compresión temporal, esta se basa en la compensación de movimiento, En dos cuadros adyacentes que pertenezcan a una misma toma, tienen mucha relación y con esto puede modelarse la imagen de manera que puede predecirse los movimientos de la imagen, entre cuadro y cuadro.

Para la predicción de movimiento se trabaja con macrobloques (cuatro bloques), Para realizar la predicción se toma como referencia una cuadro codificado como imagen tipo I, es decir un cuadro en donde se ha aplicada únicamente compresión temporal (DCT y sus herramientas), de este cuadro se toma un macrobloque de referencia y se inicia la búsqueda dentro del cuadro que se este codificando para hallar si existe algún macrobloque similar; si se encuentra un macrobloque similar al de referencia se estima un vector de movimiento que determinara la posición espacial del macrobloque de referencia en el cuadro que se esta codificando.

En resumen, el primer paso es compara macrobloques de imágenes adyacentes, para determinar cuales macrobloques se han movido entre cuadro y cuadro. (*block matching*).

El caso más simple de la predicción de movimiento es cuando dos macrobloques se repiten en el mismo lugar en el cuadro de referencia y en el cuadro que esta en codificación.

Un cuadro codificado con compresión temporal incluye los macrobloques de diferencia que hayan encontrado codificados con DCT y los vectores predictivos de movimiento de los cuadros de la imagen anterior que se han de utilizar.

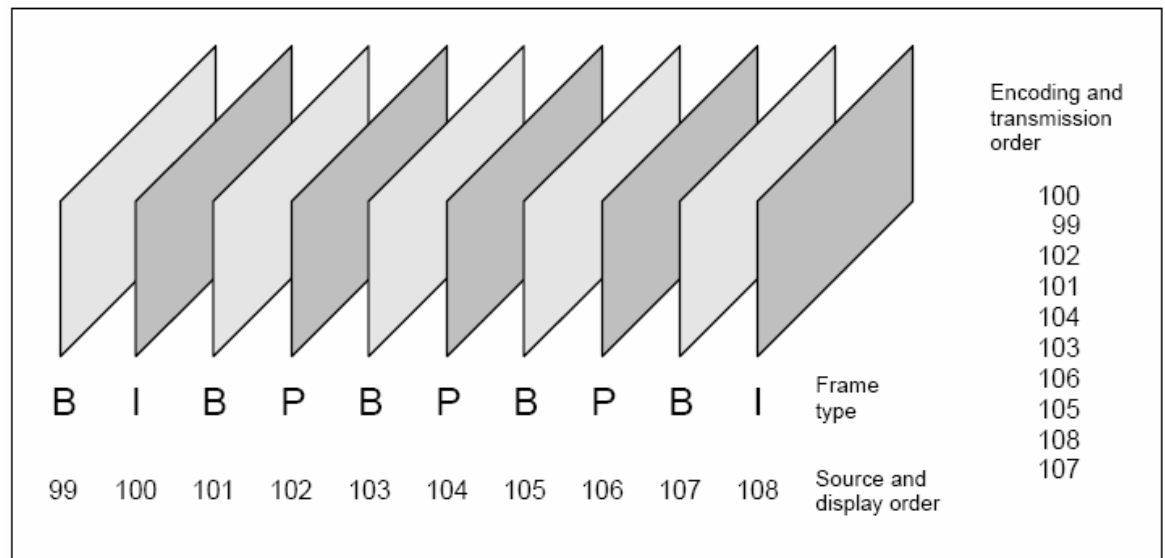
Con esta técnica el índice de compresión es mucho mayor al alcanzado con la compresión temporal, sin embargo depende de un cuadro anterior codificado con compresión temporal. Las imágenes o cuadros codificados de esta forma reciben el nombre de cuadros o imágenes P (*predictive*) que significa ``previstas o predichas``.

Dado que la norma MPEG no se encarga de fijar las técnicas específicas de cómo se realizarán los requerimientos, los diseñadores de codificadores tienen la libertad de elegir y diseñar como realizarán la predicción de movimiento. Por que los estándares MPEG solamente sirven para normalizar la forma en que se trabaja el video a manera de lograr un fácil intercambio.

Con el uso de la compresión temporal también se genera las imágenes B (bidireccionales) estas imágenes se forman por interpolación de imágenes tipo I o pueden ser también imágenes tipo P que precedan o que le sigan a la imagen que se está codificando, de allí el nombre de bidireccionales. Siempre están en medio de imágenes P o I

Dado que los cuadros de video están correlacionados tanto con los cuadros pasados y como con los cuadros futuros. Sin embargo las imágenes tipo B no se utilizan para predecir cuadros futuros o pasados. Debido a la dependencia de las imágenes B de las imágenes I o P cuando una secuencia de cuadros es transmitida se cambia el orden de transmisión con el orden de despliegue en la pantalla.

Figura 22 Ilustración de imágenes I,P, y B.



Fuente: **Guide to the Use of the ATSC Digital Television Standard**. Doc. A54 Pág. 24.

En la figura anterior se muestra una secuencia de despliegue de imágenes tipo I, P y B, en la columna lateral se muestra la secuencia de transmisión puede notarse que en la transmisión antecede el envío de imágenes tipo I y tipo P a las imágenes tipo B. Esto debido a que el decodificador debe anticipar la información que se utiliza de referencia.

Para un macrobloque de un cuadro B existen cuatro opciones: que sea un macrobloque de predicción anterior, de predicción posterior, de predicción bidireccional o que esté codificado por compresión espacial (DCT).

2.3.3.1.2. Jerarquía de capas de la secuencia de video.

Para tener mejor control de la información MPEG definió varias secciones en las que puede manejarse la información de las imágenes, las cuales son descritas a continuación.

Bloque: está formado por una matriz de 8*8 pixeles. Cada bloque es procesado por la DCT la cual forma bloques de luminancia y crominancia. El primer coeficiente en ser enviado es el de DC, por ser el coeficiente base del valor absoluto de los demás coeficientes. Los coeficientes de AC son enviados después de este.

Macrobloques: un macrobloque esta formado por cuatro bloques y sus respectivos bloques de crominancia, cuyo número puede variar dependiendo del formato de muestreo que se utilice. Se incluye con cada macrobloque una cabecera la cual indica el tipo de macrobloque ya sea de luminancia (Y) alguno de crominancia (Cb o Cr). Además, une la información sobre la compensación de movimiento del macrobloque

Rebanada (*slice*): esta formado por una serie de macrobloques, los macrobloques se ordenan dentro de la rebanada de igual forma que se realiza la exploración de la pantalla de izquierda a derecha. Además, los macrobloques deben pertenecer a la misma línea de exploración. Con un encabezado se envía la información de la posición de los macrobloques dentro la imagen y el factor de escala de cuantificación.

Las rebanada proveen una mecanismo para mantener la sincronización de la información ya que cada rebanada inicia con un código de inicio, cuando ocurre un error en el flujo de datos, el decodificador puede saltar a la siguiente rebanada y proseguir con la decodificación correcta.

El número de rebanadas afecta la eficiencia de la compresión, ya que al incluir mas rebanadas, se divide más el flujo de datos, lo cual provee mejor recuperación de errores pero usan bits, debido al encabezado de inicio, los cuales podrían ser usados para mejorar la calidad de la imagen.

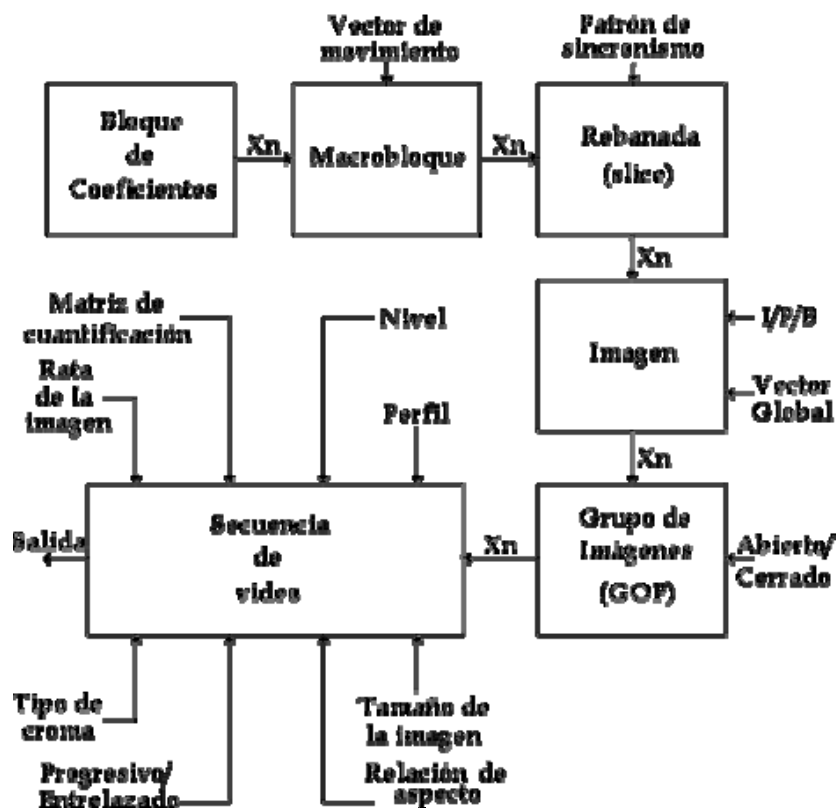
Imágenes: Las imágenes pueden ser un cuadro en el caso de barrido progresivo o un campo si el barrido es entrelazado. Se forma por una serie de rebanadas. La cantidad de rebanadas que forman un cuadro o un campo es variable, porque el número de macrobloques que componen una rebanada es variable. Esta imágenes pueden ser tipo I,P o B.

Grupo de Imágenes (GOP): Una serie de imágenes forman un grupo de imágenes. Un GOP inicia con una imagen tipo I, la cual se utiliza como referencia para las imágenes siguientes, ya que al menos la inmediata posterior será una imagen tipo P. Puede contener un máximo de 15 imágenes.

Secuencia de video: También llamada escala elemental de video. Está formada por un encabezado, uno o varios GOP, y un código de fin de secuencia. El encabezado incluye información básica de la secuencia de video: su relación aspecto, tamaño, *bit-rate*, frecuencia de exploración, el tamaño mínimo del búfer del decodificador.

Para comprender de mejor manera las capas de la secuencia de video en MPEG-2 se incluye el siguiente diagrama.

Figura 23 Estructura de una secuencia de MPEG



Fuente: Fredy Cuello y Juan Erazo. Compresión bajo los estándares MPEG
www.fuac.edu.co

2.3.3.1.3. Esquematación de los formatos de video en MPEG-2

La utilización de distintas herramientas de compresión dentro del estándar de MPEG-2 y la gran variedad de formatos de video, llevaron a la formación de un esquema que permitiera identificar y clasificar la información referente al formato y complejidad de la codificación que se utiliza en una señal de video específica.

Por ello la señal de video en MPEG-2 puede clasificarse de acuerdo a "Perfiles" y "Niveles". Un perfil indica la complejidad utilizada en la codificación, cada perfil incluye nuevos algoritmos que son agregados al perfil anterior. Un nivel indica los parámetros que permite en un perfil, estos parámetros son: el tamaño de la imagen, resolución y la velocidad de transferencia de bits de la imagen. Un codificador o decodificador que fue diseñado para trabajar en un perfil específico deben poder trabajar las señales de los perfiles inferiores a este.

Además se agrega el concepto de escalabilidad, que es la capacidad de permitir que una señal incluya en si misma información para que un receptor de bajas característica pueda recibir la señal y al mismo tiempo información adicional se envíe para ser utilizada por receptores mas potentes, que reproducirán con una calidad mucho mayor la señal de tv, utilizando datos de una capa de refinamiento, con los cuales, se crear una imagen de mayor calidad.

2.3.3.1.3.1. Escalabilidad

En MPEG-2 se agrega el concepto de escalabilidad, que es la capacidad de permitir que una señal incluya en si misma información para que un receptor de bajas característica pueda recibir la señal y al mismo tiempo información adicional se envíe para ser utilizada por receptores mas potentes, que reproducirán con una calidad mucho mayor la señal de tv, utilizando datos de una capa de refinamiento, con los cuales, se crear una imagen de mayor calidad.

La escalabilidad se logra de cuatro formas:

Escalabilidad espacial: se forma una capa base codificada para un muestreo bajo. Esta capa base es utilizada para la predicción de las capas superiores.

Escalabilidad temporal: la primera cadena binaria, contiene video codificado en bajas velocidades de trama, La segunda cadena binaria contiene las tramas intermedias. Se utiliza la primera cadena como base para la predicción de la segunda cadena.

Particionamiento de datos: se divide la información generada de los 64 coeficientes de un bloque transformado y cuantizado, en dos cadenas binarias. Una cadena contiene los coeficientes de las frecuencias más bajas y los valores de DC y los vectores de movimiento. La segunda cadena contiene los datos de AC de los coeficientes de altas frecuencias.

Escalabilidad SNR: codifica los canales a la misma velocidad de muestreo, la diferencia es la calidad de cada una de las imágenes; Existe una cadena de alta prioridad la cual lleva los datos de la capa base; Existe otro canal de baja prioridad el cual transporta los datos de la capa de refinamiento, con los cuales, se crear una imagen de mayor calidad.

Tabla VIII Arquitectura MPEG-2

Niveles	Perfiles					
	SIMPLE	MAIN	SNR	SPATIAL	HIGH	4:2:2
Tipo de imágenes	I,P	I,P,B	I,P,B	I,P,B	I,P,B	I,P,B
Muestreo	4:2:0	4:2:0	4:2:0	4:2:0	4:2:0 y 4:2:2	4:2:0 y 4:2:2
High						
Muestras/Linea		1920			1920	1920
Lineas/Cuadro		1152			1152	1080
Cuadros Segundo		60			60	60
Max Bit-Rate (Mbps)		80			100	300
High 1440						
Muestras/Linea		1440		1440	1440	
Lineas/Cuadro		1152		1552	1552	
Cuadros Segundo		60		60	60	
Max Bit-Rate (Mbps)		60		60	60	
MAIN						
Muestras/Linea	720	720	720	720	720	
Lineas/Cuadro	576	576	576	576	608	
Cuadros Segundo	30	30	30	30	30	
Max Bit-Rate (Mbps)	15	15	15	20	20	
Main						
Muestras/Linea	720	720	720	720	720	
Lineas/Cuadro	576	576	576	576	608	
Cuadros Segundo	30	30	30	30	30	
Max Bit-Rate (Mbps)	15	15	15	20	50	
Low						
Muestras/Linea		352				
Lineas/Cuadro		288				
Cuadros Segundo		30				
Max Bit-Rate (Mbps)		4				

Fuente: Ing.Roberto Lauro. Cuaderno Técnico No. 4 Redundancia Espacial Pág.4

Los perfiles utilizados en MPEG-2 son los siguientes:

Perfil SIMPLE: este perfil solamente utiliza imágenes tipo I y tipo P, no está permitido el uso de imágenes tipo B; trabaja con las relaciones aspecto 4:3, 16:9 y 2.21:1

Perfil MAIN: permite algoritmos de codificación no escalable para video progresivo y entrelazado, y acceso aleatorio; agrega la utilización de imágenes tipo B.

Perfiles SNR y Espacial: estos perfiles son escalables. Como se mencionó anteriormente se envía una señal principal y una señal auxiliar que permite realizar mejoras a la transmisión si el receptor tiene la capacidad de realizarlas. La diferencia entre ambos reside en que el perfil SNR trabaja ajustando la relación señal ruido, mientras que el perfil espacial trabaja con el tamaño de despliegue de la imagen. Con esto se persigue poder operar distintos servicios y proporcionar una mayor flexibilidad.

Perfil High: soporta las funciones de los perfiles anteriores incluyendo la escalabilidad, Posee tres capas con modos de codificación escalable SNR y Espacial.

Perfil 4:2:2: este perfil se agregó para incluir el trabajo de estudio. Este ofrece una mejor calidad de imagen y se utilizan las velocidades de transferencia más altas.

2.3.3.1.4. Sistema de Audio en el estándar MPEG

Al igual que para el video el MPEG creo un sistema de compresión de audio, este esta basado en un sistema de capas en el que cada capa permite un mayor nivel de compresión y con cada nivel también se incrementa la complejidad del compresor.

En las capas de compresión de audio de Mpeg se utilizan dos metodos de compresión el primero que es la codificación por subbandas, que se aplica a la capa I y capa II y la codificación por transformada discreta de coseno que se aplica a la capa III.

A continuación se incluyen el tratamiento del audio en MPEG-1 por se utilizado también en televisión de alta definición.

2.3.3.1.4.1. Compresión por división en sub-bandas.

Para esta codificación, se divide la señal en varias bandas de frecuencias, comprimiendo y expandiendo cada banda de acuerdo a su propio nivel. Cuando una banda contiene poca energía, poseen pequeñas amplitudes las cuales pueden codificarse con palabras de corta longitud. Cada banda tendrá entonces, una palabra de longitud variable, cuando se une el código completo de la muestra de audio, esta es más corta que si se utilizara el esquema PCM (frecuencia de muestreo de 44.1 khz. y 16 bits por muestra)

Esta codificación se basa en el funcionamiento del sistema auditivo humano y como este responde al sonido; sin embargo, este modelo fue utilizado únicamente para las capas I y II de MPEG-1.

Las características del sistema auditivo humano son:

Responde a frecuencias en el rango de 20hz a 20Khz, a la misma potencia las frecuencias bajas frecuencias son percibidas con mayor dificultad que las frecuencias altas.

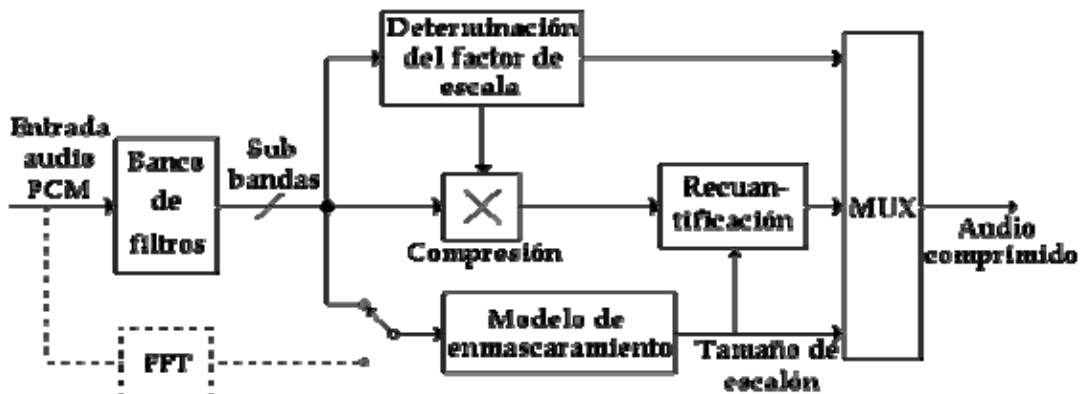
Los sonidos que tienen mayor potencia son percibidos por el oído, pero los sonidos de frecuencias adyacentes que tiene una potencia baja no son percibidos por el oído. A este efecto se le llama enmascaramiento en frecuencia

De la misma manera si un sonido fuerte es emitido al mismo tiempo que otro con menor intensidad, y de pronto el sonido fuerte se detiene, el sonido con menor potencia es percibido por el oído después de un pequeño retardo, también llamado enmascaramiento temporal.

Este modelo de la audición se llama modelo psicoacústico. Utilizando esta información se diseño el formato de compresión de MPEG.

Esta compresión sigue el siguiente esquema:

Figura 24 Modelo de compresión de audio Mpeg.



Fuente: Fredy Cuello y Juan Erazo. Compresión bajo los estándares MPEG
www.fuac.edu.co

Para este proceso se divide la señal en 32 subbandas de frecuencia; es decir la señal es filtrada para generar 32 bandas, de cada banda se toman 12 muestras.

Cada frecuencia es transformada por un transformada rápida de fourier. El resultado de la transformación es utilizado para realizar el enmascaramiento en frecuencia.

El nivel del sonido de enmascaramiento de cada sub banda es distinto, y depende de su frecuencia, Todos los umbrales de la subbandas son combinados para formar un umbral de enmascaramiento gobal.

Este nivel llamado umbral de enmascaramiento global es comparado con el nivel máximo de cada subbanda, a esto se le llama la relación señal-mascara, signal to mask ratio (SMR), el resultado de esta relación es enviado al recuantificador y sirve para determinar el tamaño de los pasos para la cuantificación de las muestras.

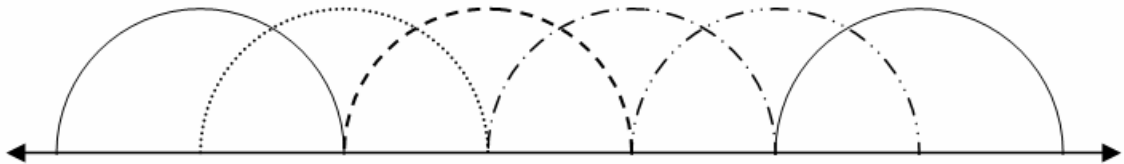
También se utiliza un factor de escala que tiene como función multiplicar la muestra para que esté dentro de un rango aceptable para aprovechar los bits que representaran dicha banda. Después de este paso se genera los Elementary Stream de Audio.

2.3.3.1.4.2. Compresión por transformación

Para esta compresión se utiliza la transformada discreta de coseno, con esta se transforma la señal de audio que esta en el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. Las variaciones del audio en el dominio de la frecuencia son más lento, lo que permite disminuir la frecuencia de muestreo y como un efecto inmediato esto reduce la cantidad de información que se necesita almacenar, con esto se logra la compresión.

Para realizar la transformación se toman muestras de la señal de audio, estas muestras se toman de forma que en el dominio del tiempo son ventanas que se traslapan. Como muestra la siguiente figura.

Figura 25 Muestreo de la señal de audio para ser transformada al dominio de la frecuencia



Las forma en semicírculo no representan el nivel de ganancia que se toma de cada muestra, pero se utilizó para comprender mejor el proceso. Con este proceso se mantiene un control constante del cambio de la señal. Cuando son transformadas estas muestras se tendremos que se repiten la mitad de la muestra actual con la muestra siguiente, y es traducido a coeficientes con la misma magnitud pero con polaridad opuesta; estos son eliminados cuando se produce la transformación inversa.

2.3.3.1.4.3. Trenes elementales de audio

El elementary stream de audio tiene un formato para cada capa de audio.

2.3.3.1.4.3.1. Estructura de la capa I

Para la capa I se utiliza la compresión por división en subbandas, y tiene el siguiente formato:

Cabecera	Paridad	Bits por ventana	Factor de escala	Muestras de cada banda	Datos Auxiliares
----------	---------	------------------	------------------	------------------------	------------------

La cabecera, incluye la información de la sincronización y la información de sistema. El siguiente campo contiene un sistema de paridad llamado código de redundancia cíclica CRC que utiliza 16 bits. El tercer campo indica la cantidad de bits que es asignado para cada subbanda, en otras palabras define la resolución de la codificación, se utilizan 4 bits por cada subbanda. En el cuarto campo se incluye los factores de escala utilizados para cada subbanda. Luego se incluyen los datos de cada subbanda, son 12 muestras por cada una con total de 384 muestras.

El último campo es de datos auxiliares.

Para esta capa se utilizan frecuencias de muestreo de 32khz, 44.1 kz y 48 khz.

2.3.3.1.4.3.2. Estructura de la capa II

En esta capa se presenta pequeñas variaciones con respecto a la primera capa.

Cabecera	Paridad	Bits por ventana	Factor de escala	Selección SCFSI	Muestras de cada banda	Datos Auxiliares
----------	---------	------------------	------------------	-----------------	------------------------	------------------

Los primeros dos campos son los mismos que en la capa I. Las variaciones son las siguientes, en esta capa se permite la variación en el tamaño de la codificación de cada banda, los coeficientes pueden ser codificados en 2 o 4 bits, además las bandas pueden formarse grupos de tres bandas. Esta información está incluida en el campo de Bits por ventana.

El campo Selección de SCFSI lo cual significa scale factor selection información, permite informarle al decodificados cuantos factores de escala se utilizaron para la codificación, si el vector de escala se aplica a todo el tren de datos o si hay 2 ó 3 factores de escala.

El campo factor de escala contiene el valor del factor de escala que fue utilizado para la parte del tren de datos de audio para las muestras que el campo SCFSI lo indica.

2.3.3.1.4.3.3. Estructura de la capa III

Esta capa al igual que el video de MPEG-2 una transformación al dominio de la frecuencia a través de la DCT. En este se permite que el flujo de datos sea variable y la su tasa de compresión es mayor, esto repercute directamente en la complejidad del codificador y del decodificador. Todos los encabezados de las tres capas son idénticos y tiene los campos de la siguiente tabla

Tabla IX Campos del encabezado de un PES de audio MPEG

Campo	Comentario	N° de bits
syncword	tren 1111 1111 1111 (FFF hex)	12
ID	siempre a "1" para MPEG-1 de audio	1
layer	11=I, 10=II, 01=III, 00 reservado (capa)	2
protection_bit	0 si se añade redundancia, 1 si no	1
bitrate_index	15 valores (0000=flujo libre, 1111=prohibido)	4
sampling_frequency	00=44.1 KHz, 01=48, 10=32, 11=reservado	2
padding_bit	1=ajuste (necesario para Fmuestreo=44.1 KHz)	1
private_bit	no especificado, uso libre	1
mode	00=stereo, 01=joint, 10=dual, 11=mono	2
mode_extension	margen de las sub-bandas en intensity_stereo	2
copyright	1=copyright, 0=libre	1
original/copy	1=original, 0=copia	1
emphasis	00=no, 01=50/75m s, 10=reservado, 11=J17	2

Fuente: Fredy Cuello y Juan Erazo. **Compresión bajo los estándares MPEG**
www.fuac.edu.co

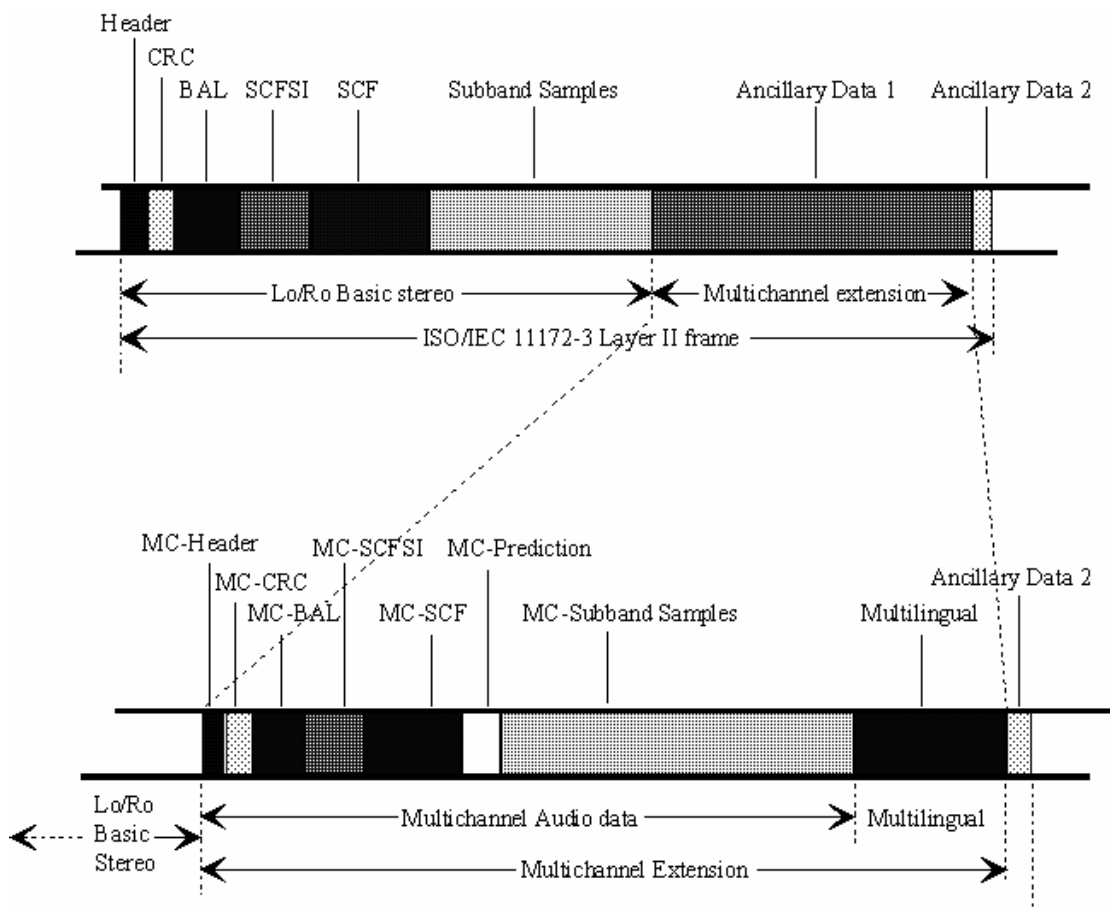
2.3.3.1.4.3.4. Audio en MPEG-2

En el MPEG-2 se mantiene la posibilidad de utilizar cualquiera de las tres capa, pero se logro incluyeron menores frecuencias de muestreo, 16 Khz, 22.05 Khz y 24 Khz, con la finalidad de hacerlo compatible con una mayor cantidad de aplicaciones.

Para las frecuencias de muestreo utilizadas por el MPEG-132Khz, 44.1 Khz y 48Khz se incluyo la opción de canales múltiples, cinco en total: derecho, izquierdo, central y *surround* izquierdo y derecho. Se agregó otro canal opcional que mejora la calidad en las frecuencia bajas. Con esto se amplio el estándar MPEG-1 manteniendo la compatibilidad entre MPEG-1 y MPEG-2.

Con esto se cambio el formato del tren elemental de audio, para ampliar de dos canales (sistema estéreo) a un sistema de cinco canales mas otro de refuerzo de señal de refuerzo de frecuencias bajas. Sin embargo, se mantiene la compatibilidad con los decodificadores de audio de MPEG-1.

Figura 26 Estructura de un bloque de datos de audio MPEG -2



Fuente: : Dr. Leonardo Chiariglione. **International Organisation for standardisation organisation internationale de normalisation ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Coding of Moving Pictures and Audio.** <http://www.chiariglione.org/mpeg/standards/mpeg-2/mpeg-2.htm>

2.3.3.1.5. Estructura de transporte y multiplexión de datos en MPEG. Capa de Sistema

Debido a la alta complejidad de información y parámetros que se manejan bajo el estándar MPEG, se creó una estructura que permitiera que el codificador indique a través del canal de datos, los valores de los parámetros que se están utilizando, así como también brindar sincronización al sistema. A continuación se describe la estructura de los sistemas usados en MPEG-2, se incluyen los nombres y siglas en inglés, debido al amplio uso de estos términos en la literatura referente al tema.

2.3.3.1.5.1. Flujo elemental, Elementary Stream

Un flujo elemental ES por sus siglas en inglés, contiene información proveniente del codificador de audio o de video. Es decir, un ES está formado por los datos puros que genera el proceso de codificación de audio o de video.

2.3.3.1.5.2. Paquetes de flujo elementales, *Packetized Elementary Stream (PES)*

Éstos se forman por los flujos de datos de video o de audio, con la diferencia que incluyen un encabezado que identifica los datos. Su longitud máxima es de 8 kilobytes (64 kilobits). El formato de un PES es el siguiente.

8 Kilobytes	
Encabezado	Carga útil

El encabezado tiene una extensión total de 8 bytes (64 bits) se compone de un código de inicio formado por 3 bytes (24 bits), luego se coloca la identificación de la cadena, para indicar de tipo es (video o audio) para esto se utiliza 1 byte (8bits), luego un registro que indica la longitud del paquete, y por último el tamaño del búfer codificado en 2 bytes.

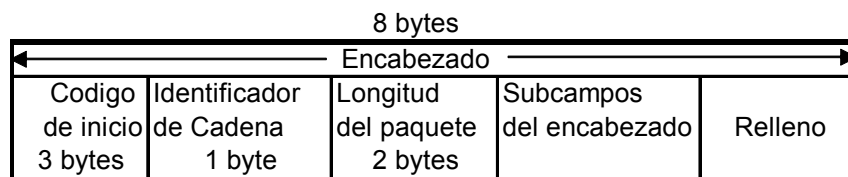


Tabla X Estructura de la cabecera del paquete MPEG-2

Campo	Definición	Nº de bits
start_code_prefix	código de inicio (00 00 01 hex)	24
string_id	Identificación del PES	8
packet_length	longitud del PES	16
PES_scrambling_control	define si hay cifrado y su palabra de control	2
flags	marcadores diversos	14
PES_header_length	longitud de la parte restante de cabecera del PES (x+y)	8
PES_header_subfields	campo variable que depende de los flags	x bytes
stuffing	relleno	y bytes

Fuente: Fredy Cuello y Juan Erazo. **Compresión bajo los estándares MPEG** www.fuac.edu.co

Dentro de la sección de subcampos de la cabecera del PES se encuentran la sección de banderas, un registro que indica la longitud restante de la cabecera, y los subcampos que se utilizarán dependiendo de la bandera.

En esta sección se ubican dos marcadores muy importantes. El primero es el *Decode Time Stamp* (DTS), este, marcador indica el orden en que el tren elemental empaquetado (PES) debe ser decodificado.

El segundo es el *Presentation Time Stamp* (PTS) es el que indica en que orden debe desplegarse o presentarse el PES.

Estos marcadores solamente se aplican en los PES de video, debido al proceso de reordenación que sufren las secuencias de video antes de ser enviadas, de manera que cuando se utilizan imágenes tipo B, el decodificador tenga listas la imágenes tipo I y tipo P necesarias para decodificar una imagen tipo B.

2.3.3.1.5.3. Transporte de datos

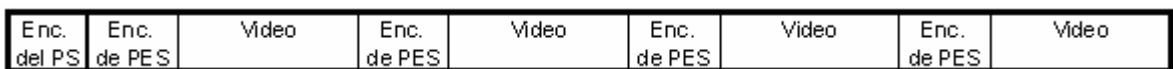
Debido a la amplia variedad de aplicaciones para las que fue creado el estándar MPEG-2 se definieron dos formas de seccionar la información para luego ser multiplexada, tomando en cuenta el medio por el cual son transportados los datos; estos son el *Program Stream* PS y el *Transport Stream* (TS)

2.3.3.1.5.4. Tren de Programa, *Program stream*

Se utiliza en medios libres de error y de ruido, como por ejemplo algún medio de almacenamiento (CD-ROM, discos duros, DVD). En un *Program Stream* se incluyen varios PES, para forman un solo tren de datos.

El tipo de PES que contiene un *Program Stream* pueden ser de video, de audio o datos privados.

Los PS poseen una longitud variable. Debido a que se utiliza en medio de poco ruido y libres de error, como se mencionó. Su longitud es grande, para poder transportar mayor cantidad de información, y ahorrar espacio dentro del flujo de datos, que se utiliza para manejo del sistema. El formato del PS consiste en un encabezado y un área de carga, la que contiene los *packetized elementary stream*.



Como se muestra en el diagrama anterior un encabezado es el que inicia el paquete de datos PS, luego de este le siguen los PES con su respectivo encabezado.

El encabezado contiene información general del tren, como la velocidad de multiplexación del tren, y se incluye un campo que permite la sincronización del sistema llamado, *system clock reference*, (SCR), el cual trabaja con un reloj común al codificador y decodificador, que trabaja a 90Khz.

Luego del encabezado del PS, en el primer PS se incluye una cabecera de sistema (*System header*) en la cual se indica el número y tipos de PES que llevará la transmisión.

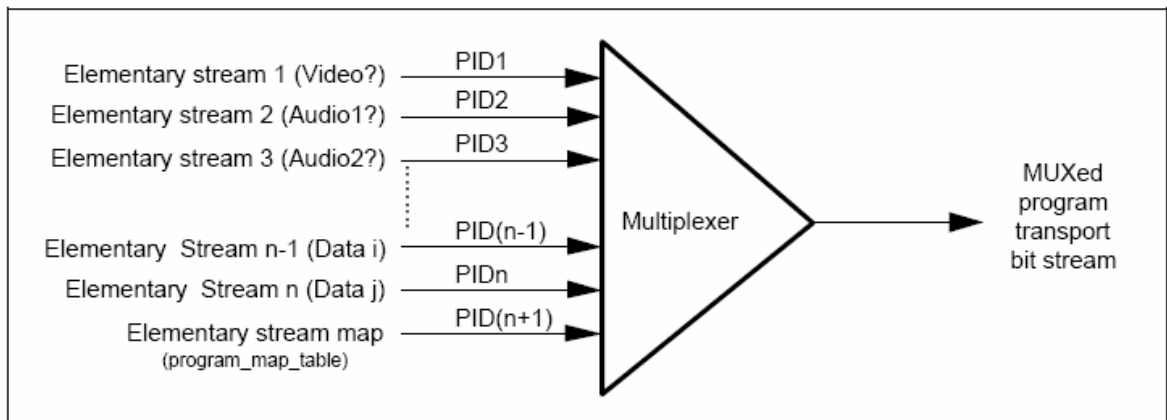
2.3.3.1.5.5. Tren de transporte, *transport stream* (TS).

Es utilizado en medios de transmisión que son más susceptibles al ruido y a errores. Por esa razón es el método de multiplexación ideal para en trasmisiones por cable, satélite o emisiones terrenas de televisión digital. Esto se logra modificando el tamaño del tren de transporte.

El *transport stream* es mas pequeño que un *program stream*, de tal manera que si se pierde la sincronización, el tiempo de recuperación de sincronismo es menor.

En tamaño utilizado por las tres normas de HDTV es de 188 bytes. El encabezado del *transport stream* utiliza 4 bytes y el resto de bytes son utilizados para llevar la carga de datos.

Figura.27 Creación de un *transport stream*



Fuente: **Guide to the Use of the ATSC Digital Television Standard**, Pág.89.

En la creación la figura se muestra un esquema de la creación de un *transport stream*, en este pueden incluirse *elementary stream* de audio y de video de varios programas de televisión o canales o de datos.

En cuanto a los *elementary stream* de datos pueden ser parte de diferentes aplicaciones, la única restricción que existe es la de tener un identificación apropiada (*stream_type ID*) para habilitar el reconocimiento de la correspondiente aplicación en el decodificador. Esta es una característica del estándar MPEG-2 que permite que en el mismo flujo de datos puedan incluirse otros servicios o mejoras a la HDTV, y así se le agrega flexibilidad al estándar.

El tren de transporte TS, se divide en dos partes el encabezado y la carga. El encabezado tiene el siguiente formato:

Byte de sincronismo	Indicador de error de transporte	Indicador de comienzo de carga util	Prioridad de transporte	Identificador de Paquete (PID)	Control de scrambling de trasporte	Control de campo de adaptación	Contador de continuidad	Campo de adaptación
---------------------	----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------	--------------------------------	------------------------------------	--------------------------------	-------------------------	---------------------

El byte de sincronismo, *sync_byte*, es el bit con el lleva la secuencia de sincronismo para inicias la transmisión. El indicador de errores, *Transport_error_indicator*, contiene la información del estado de la transmisión, si esta contiene errores o no. Indicador de comienzo de carga útil, *payload_unit_start_indicator*, permite controlar si el tren de datos contiene algún error detectado más atrás. Prioridad de transporte, *transport_priority*, en este campo se incluye la información acerca de la prioridad del paquete que se esta transportando.

Identificador del paquete, *packet identifier (PID)*, es utilizado para identificar el tipo de contenido del paquete, puede ser audio, video, etc. Es un valor entero único que permite identificar a un tren elemental ES perteneciente a un programa dentro de un programa de transporte o una multiplexación de programas.

Control de cifrado, *transport_scrambling_flags*, indica el tipo de de cifrado para el transporte.

Antes de proseguir con la descripción de los siguientes campos del encabezado del PS, es necesario explicar algunos detalles relacionados con su constitución del TS.

La norma ISO/IEC 13818-1 indica que un paquete de transporte solamente puede contener datos que pertenezcan un conjunto de PES. Sin embargo, la longitud utilizada es de 188 bytes para cada TS, lo cual muchas veces no resulta ser múltiplo de 8 kilobytes

Los estándares ATSC y DVB definen que el largo de TS que han de utilizar es de 188 bytes, pero debido a que el tamaño máximo de un PES es de 8 kilobytes, cada PES se divide en partes más pequeñas que son los TS; sin embargo, esta división no es exacta, por ello se implementó un campo de adaptación (*Adaptation_field*), el cual llena el espacio al final de la transmisión de un PES. El siguiente campo es el de bandera del campo de adaptación, *adaptation_field_flag*, le indica al decodificador si el TS contiene o no el campo de adaptación.

Contador de continuidad (*continuity counter*), indica si algún paquete de datos se pierde, esta repetido o fuera de secuencia.

Campo de adaptación (*adaptación field*), este es un campo opcional; su longitud es variable, permite agregar información sobre los datos que son transportados. Con esto se consigue una reducción en la longitud del espacio utilizado para la información de los datos, y así mantener la velocidad de bit (*bit-rate*) en un valor constante.

El campo de adaptación tiene la siguiente estructura.

Longitud Campo de Adaptación	Indicador de discontinuidad	Indicador de acceso aleatorio	Indicador de prioridad de un ES	Banderas	Campo opcional	Bytes de relleno
------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------	----------	-------------------	------------------------

Longitud de campo de adaptación, define el número de bytes que siguen al encabezado de adaptación.

El resto de campos son indicadores y banderas. Las banderas permiten activar otras funciones del campo de adaptación. Las banderas de esta sección de datos son las siguientes

Bandera PCR	Bandera OPCR	bandera punto de empalme	Bandera transporte datos privados	Bandera extensión Campo de Adaptacion
-------------	--------------	--------------------------	-----------------------------------	---------------------------------------

Estas activan los siguientes campos opcionales,

PCR	OPCR	Contador descendente de empalme	Longitud de dato privado de transporte	Extensión de adaptación de campo
-----	------	---------------------------------	--	----------------------------------

Con estos campos opcionales, el campo de adaptación puede llevar las muestras del reloj de sincronización PCR (*Program Clock Referente*), este reloj debe ser transmitido cada 100 milisegundos, y bajo ciertas circunstancias este campo podría tener que ser modificado durante el proceso de transmisión.

El **campo OPCR** es el reloj original de referencia del programa (*original_program_clock_reference*) el cual sirve para indicar el tiempo de llegada pretendido del último byte del *original_program_clock_reference_base* en el decodificador objetivo por un solo programa

Contador descendente para empalme: este contador es decrementado a medida que se acerca un punto en el cual puede insertarse datos. Permite localizar en que paquete puede realizarse una conmutación.

2.3.3.1.5.6. Multiplexión de datos

Cuando se multiplexa la información en MPEG-2 pueden transportarse varios programas, de televisión en nuestro caso, al mismo tiempo, cada uno compuesto por uno o varios trenes elementales de paquetes. (PES). Esta multiplexación se basa en los paquetes de transporte TS tratados anteriormente.

Por ello se diseñó una forma para que el decodificador reorganice los datos enviados por el codificador y así decodificarla. Así fueron definidas varias tablas, con las cuales el decodificador obtiene la información específica de cada programa llama en el estándar como *program specific information* (PSI).

Las tablas son las siguientes:

Tabla de asociación del programa, *Program Association Tables* PAT, esta tabla es transportada por los paquetes cuyo identificador PID sean cero, PID=0x0000. Esta tabla incluye el valor de los identificadores de los paquetes (PID) que transportan las tablas PMT (*Program Map Tables*). Es decir que la tabla PAT es un índice que utiliza el decodificador para saber que paquetes llevan las tablas PMT

Tabla de mapa del programa, *program map tables*: Sirve para indicar el valor de los identificadores de los trenes elementales (PID) que pertenecen a un programa específico. Por ello se hace una tabla por cada programa que este siendo parte de la multiplexación.

Tablas de acceso condicional. *Condicional access table* CAT, se utiliza para acceder a los programas en el caso de que estos se envíen encriptados.

Por ello puede o no estar presente, se utiliza solamente cuando algún programa este encriptado o condicionado

Los sistemas de acceso condicional, utilizan un algoritmo para transmitir los dato al azar, e esta forma los decodificadores que no estén autorizados para recibir esta señal no pueden ingresar a ella. Los receptores que tienen autorización para recibir dicha señal reciben una clave para iniciar el circuito que permite invertir la transmisión aleatoria.

3. TIPOS DE TELEVISIÓN DIGITAL

Dentro de la televisión digital existen dos grandes clasificaciones, y en ellas se enmarcan las propuestas de televisión digital. Estas clasificaciones son el SDTV y el HDTV que a continuación se explican.

3.1. SDTV

SDTV significa *standard definición televisión*, es la propuesta de televisión digital con la más baja resolución y es ligeramente superior a la resolución que actualmente se obtiene con televisión analógica.

Con esto se consiguen varios beneficios dentro del servicio de televisión. Estos son:

- **Mayor aprovechamiento del ancho de banda.** Utilizando SDTV pueden enviarse varios canales con esta resolución, por el mismo ancho de banda asignado para un canal de televisión analógica, dado que la cantidad de información que es enviada para poder regenerar en los receptores es menor.
- **Dentro de la clasificación de SDTV existen varios tamaños y resoluciones** que permiten los distintos estándares a continuación se presentan los formatos aceptados dentro bajo la clasificación SDTV.

Los formatos que la norma ATSC permite como parte de SDTV son los siguientes:

Formato: 480 píxeles verticales 640 píxeles horizontales.

Este es el formato de menor resolución aceptado en ATSC. Dentro de este mismo formato son aceptadas ciertas variaciones que incluyen la frecuencia de cuadros, el tipo de barrido.

Según la tabla III del el documento A/53/B de la ATSC, para este formato se permite el barrido progresivo y el barrido entrelazado.

En el caso del barrido progresivo la frecuencia de cuadro puede ser cualquiera de los siguientes: 23.976 Hz., 24 Hz., 29.97 Hz., 30 Hz., 59.94 Hz., 60 Hz. Si el barrido es entrelazado las frecuencias permitidas son 29.97 Hz y 30 Hz. La única relación aspecto de este formato es 4:3

Formato: 480 píxeles verticales 704 píxeles horizontales

Para este formato se utiliza la relación aspecto 4:3 o 16:9 y permite la utilización de barrido progresivo o barrido entrelazado.

Para el barrido progresivo la frecuencia de cuadro puede ser: 23.976 Hz., 24 Hz., 29.97 Hz., 30 Hz., 59.94Hz., 60 Hz.

Para el barrido entrelazado puede utilizarse: 29.79Hz. y 30 Hz.

Para la norma europea DVB se tienen muchos más formatos validos, se incluyen las relaciones aspecto 4:3 y 16:9. Además, se propone como opcional el uso de la relación aspecto 2.21:1 para ser usada dentro de los formatos que pertenecen a SDTV estas relaciones aspecto son validas para todos los formatos excepto el formato 480 píxeles verticales 640 píxeles horizontales.

Formato: 576 píxeles verticales para estos formatos se permiten diferentes valores de píxeles horizontales los cuales se describen a continuación.

- **720 píxeles horizontales.** El barrido progresivo permite el uso de las siguientes frecuencias de cuadro: 50 Hz., 24 Hz., y 25Hz. para barrido progresivo y 25 Hz en barrido entrelazado.
- **544 píxeles horizontales.** Para barrido progresivo se permite el uso de las siguientes frecuencias de cuadro: 24 Hz., 25Hz. Cuando el barrido es entrelazado se utiliza únicamente 25 Hz.
- **480 píxeles horizontales.** Utiliza 24 Hz y 25 Hz para el barrido progresivo y 25 para el barrido entrelazado.
- **352 píxeles horizontales.** Se permite el uso de barrido progresivo con frecuencia de cuadro de 24 Hz o 25 Hz. Si se utiliza barrido entrelazado únicamente se permite es uso de 25Hz.

Formato: 480 píxeles verticales. Para este formato de píxeles verticales el estándar DVB permite varios formatos de resolución horizontal, los cuales son:

- 720 píxeles para barrido progresivo se permite el uso de cualquiera de las siguientes frecuencias: 59.94 Hz, 60Hz ,23.976Hz ,24 Hz ,29.97 Hz., 30Hz. Para el barrido entrelazado agresivo se permite el uso de 29.97Hz. o 30 Hz.

- 640 píxeles de resolución horizontal. Este formato es el único que solamente permite una relación aspecto 4:3. Las frecuencias de cuadro para el barrido progresivo son las siguientes: 59.94Hz, 60Hz, 23.976Hz, 24Hz, 29.97Hz, 30Hz. Para el barrido entrelazado es 29.97Hz. y 30Hz.
- 544 píxeles de resolución horizontal. Al utilizar barrido progresivo se permite el uso de una frecuencia de cuadro de 23.976Hz y 29.97Hz. Para barrido entrelazado puede utilizarse 29.97 Hz.
- 480 píxeles de resolución horizontal. Para el barrido progresivo se permiten únicamente dos frecuencias de cuadro las cuales son 23.976Hz y 29.97Hz. Para el barrido entrelazado se utiliza una frecuencia de 29.97 Hz.
- 352 píxeles de resolución horizontal. En este formato se permite el uso de barrido progresivo con frecuencias de cuadro de 23.976 Hz o 29.97 Hz. Con barrido entrelazado únicamente se permite el uso de 29.97 Hz.

Formato: 288 píxeles verticales y 352 píxeles horizontales. Únicamente se permite el barrido progresivo y la frecuencia de cuadro puede ser 24Hz, o 25 Hz.

Formato: 240 píxeles verticales 352 píxeles horizontales. Solamente permite el uso de barrido progresivo y la frecuencias de cuadro puede ser 23.976 Hz o 29.97 Hz.

En el caso del estándar Japonés se utiliza para SDTV los siguientes formatos:

Formato: 480 píxeles verticales y 720 píxeles horizontales, permite el uso de barrido progresivo con frecuencias de cuadro de 59.94 Hz con relación aspecto 4:3 y 16:9. Si se utiliza barrido entrelazado se utiliza la frecuencia 29.97 Hz.

Formato: 480 píxeles verticales y 544 píxeles horizontales, utilizan una relación aspecto de 4:3 o 16:9. Utiliza barrido entrelazado con una frecuencia de cuadro de 29.97Hz.

Formato: 480 píxeles verticales y 480 píxeles horizontales. Utiliza las relaciones aspecto 4:3 y 16:9. Se utiliza barrido entrelazado con una frecuencia de cuadro de 29.97 Hz.

Formato 360 píxeles verticales y 720, 540 o 480 píxeles horizontales con una relación aspecto 4:3 o 16:9. Utilizan barrido entrelazado y una frecuencia de cuadro de 29.97 Hz.

3.2. HDTV

HDTV como se ha mencionado con anterioridad significa High Definition Televisión, es el nombre no solamente del sistema sino de un de los formatos en que este sistema puede transmitir. Cuando se utiliza HDTV se utiliza la resolución mas alta a la que cada estándar permite trabajas con esto la calidad de las imágenes es muy superior a la de la televisión analógica y a la de SDTV. Cuando se habla de HDTV estamos hablando del uso del formato 16:9 para la relación aspecto de las imágenes de televisión. Esto permite tener una calidad de DVD en los programas de televisión trasmitidos y un formato de pantalla igual semejante al utilizado en proyecciones de cine.

Los formatos de HDTV utilizados en el estándar ATSC son: 1080 1920 y 720: 1280.

Formato: 1080 píxeles verticales, 1920 píxeles horizontales.

Para estos formatos se permite el barrido entrelazado o el barrido progresivo.

Al utilizar el barrido progresivo puede utilizarse cualquiera de las siguientes frecuencias de cuadro: 23.976 Hz., 24 Hz., 29.97 Hz., 30 Hz.

Si el barrido es entrelazado se permiten 30 Hz. o 30 Hz. como frecuencia de cuadro.

Formato: 720 píxeles verticales 1280 píxeles horizontales.

En este formato solo se permite el barrido progresivo, con las siguientes frecuencias de cuadro: 23.976Hz, 24Hz, 29.97Hz, 30Hz, 59.94Hz, 60Hz. La norma europea DVB propone el uso de cuatro formatos para HDTV

Formato 1152 píxeles de resolución vertical y 1440 píxeles de resolución horizontal. Únicamente permite la relación aspecto 16:9 y una frecuencia de cuadro de 25 Hz con barrido entrelazado

Formato: 1080 píxeles verticales 1920 píxeles horizontales. Acepta la relación aspecto 16:9 y se permite la utilización de barrido progresivo en una de las siguientes frecuencias de cuadro: 24 Hz, 25Hz, 23.976 Hz, 24Hz, 29.97 Hz, 30 Hz. Si se utiliza barrido entrelazado puede utilizarse las siguientes 25Hz, 29.97Hz o 30 Hz.

Formato: 1035 píxeles verticales 1920 píxeles horizontales Permite el uso de barrido entrelazado con frecuencia de cuadro de 25Hz, 29.97Hz, 30Hz

Formato:720 píxeles verticales 1280 píxeles horizontales. Permite el uso de barrido progresivo cuya frecuencia de cuadro que puede ser 24Hz, 25 Hz, 50 Hz, 23.976 Hz, 29.97 Hz, 30 Hz, 59.94 Hz, 60 Hz

El estándar ISDB del estándar Japonés menciona que se regirá según el estándar MPEG por lo que el formato para HDTV posee 1920 muestras por línea y 1152 líneas por cuadro 60 cuadros por segundo y una velocidad de bit máxima de 80 Mbits/s. El estándar ISDB especifica varios formatos para HDTV que se presentan a continuación.

Formato 720 píxeles verticales y 1280 píxeles o 960 píxeles horizontales permite la relación aspecto 16:9 y 4:3 con barrido progresivo y frecuencia de cuadro de 29.97 Hz.

Formato 1080 píxeles verticales y 1440 o 1080 píxeles horizontales con una relación aspecto 4:3, con un barrido entrelazado y una frecuencia de cuadro de 29.97 Hz.

Formato 1080 píxeles verticales y 1920 o 1440 píxeles horizontales con una relación aspecto de 16:9 Utiliza barrido entrelazado y una frecuencia de cuadro de 29.97 Hz.

4. ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL

En el campo de la televisión digital existen actualmente tres estándares, cada uno de ellos propone de manera distinta el manejo y estructura del sistema de la televisión digital.

Los tres estándares fueron creados en distintos lugares, en Estados Unidos se creó el estándar ATSC, en Europa el estándar DVB y en Japón el estándar ISDB-T

4.1. Advanced Television Systems Committee (ATSC)

El Comité de Sistemas de Televisión Avanzada es una organización internacional, no lucrativa que desarrolla voluntariamente estándares para televisión digital.

En el ATSC están representados los sectores de transmisión, equipo de transmisión, cine, los consumidores de electrónicos, computadoras, cable, satélite y la industria de los semiconductores.

El estándar de Televisión Digital ATSC (A/53) fue adoptado en Estados Unidos por la United States Federal Communications Commission (FCC) en 1996. Este estándar describe un sistema diseñado para transmitir video de alta calidad, audio y datos auxiliares sobre un solo canal de 6 Mhz.

El sistema utilizado por el ATSC esta basado en el sistema adoptado por Internacional Telecommunication Union, Radiocommunication Sector (ITU-R), Task Group 11/3.

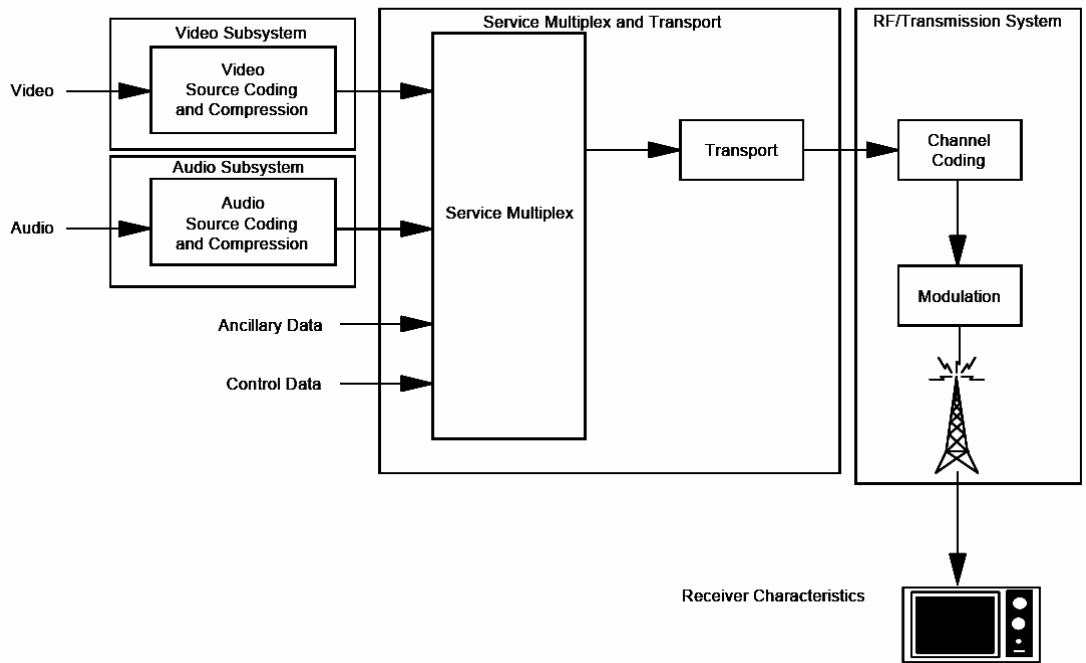
Según este modelo el sistema tomarse como dividido en tres subsistemas:

- a) **Fuentes de codificación y compresión:** Esta parte del sistema se refiere a los métodos de reducción de la velocidad de bit, o dicho de otra manera se trata de la compresión de datos.

- b) **Servicio de multiplexión y transporte:** Se refiere a los medios de división de los trenes de datos digitales en paquetes de información, los medios de identificación única de cada paquete o tipo de paquete y loa métodos apropiados de multiplexión de los paquetes de flujo de datos de video, paquetes de flujo de datos de audio y paquetes de flujo de datos auxiliares en un solo tren de datos.

- c) **RF/Transmisión:** En este subsistema se incluyen las consideraciones sobre la codificación del canal y la modulación. El codificados del canal toma el flujo de bits de datos y agrega información adicional que puede ser usada por el receptor para poder reconstruir los datos de la señal del receptor

**Figura 28 Sistema de televisión terrestre digital propuesto por
Internacional Telecommunication Union,
Radiocommunication Sector (ITU-R), Task Group 11/3.**



Fuente: **ATSC Standard: Digital Television Standard, Revision B with Amendments 1 and 2. Doc A/53B** Pag.24

Para cada subsistema los diversos estándares utilizan métodos distintos para cada subsistema, específicamente el sistema ATSC utiliza lo siguiente:

Para la fuentes de codificación y compresión sistema ATSC utiliza el la sintaxis de flujo de video MPEG-2 para la codificación y compresión de video y el sistema Digital Audio Compresión, AC-3, para realizar la compresión y codificación de audio.

Existen ciertos formatos de video de entrada para el sistema ATSC permitidos de los cuales pude codificarse cualquiera de los formatos mencionados para este estándar en el capítulo 3 de este trabajo.

Tabla XI Formatos de entrada de video estandarizados.

Video Standard	Active Lines	Active Samples/ Line
SMPTE 274M	1080	1920
SMPTE 296M	720	1280
ITU-R BT.601-4	483	720

Fuente: Digital Television Standar, Revisión B Doc. A/53 pag 28

En el subsistema de servicio de multiplexión y transporte, el ATSC utiliza la sintaxis de flujo de transporte del MPEG-2 para la paquetización y multiplexión de video, audio y para las señales de datos del sistema de transmisión digital. La sintaxis del MPEG-2 fue desarrollada para aplicaciones donde la capacidad del ancho de banda del canal o el medio de grabación es limitada. Además, su diseño facilita la interoperabilidad con el mecanismo de transporte ATM.

En el subsistema de Radio Frecuencia y Trasmisión, el estándar ATSC permite el uso de dos formas de modulación: la utilizada para transmisión terrestre es la llamada 8VSB y un modo para datos de alta velocidad.

Debido a que la codificación de video y el sistema de transporte y multiplexión de MPEG-2 ya fue descrito el capítulo 2 de este trabajo solamente se describirá el sistema de audio AC-3 y la modulación 8VSB que se utiliza en el ATSC para transmisión terrestre de televisión digital.

4.1.1. Audio Code AC-3

Este sistema también se conoce como Dolby Digital, es una técnica que utiliza la percepción auditiva del oído humano para reducir la cantidad de información necesaria para reproducir el sonido con una gran calidad. El sistema es similar al utilizado en el tratamiento de audio en MPEG.

El sistema audio code 3 (AC-3) es una tecnología de compresión de música multicanal, que ha sido desarrollada por Dolby Laboratorios. El objetivo de esta tecnología de compresión digital es producir una representación digital de una señal de audio la cual, cuando es decodificada y reproducida, suene igual que la señal original, mientras se usa un mínimo de información (bit-rate) digital para la representación compresada (o codificación), proveyendo una verdadero sonido envolvente.

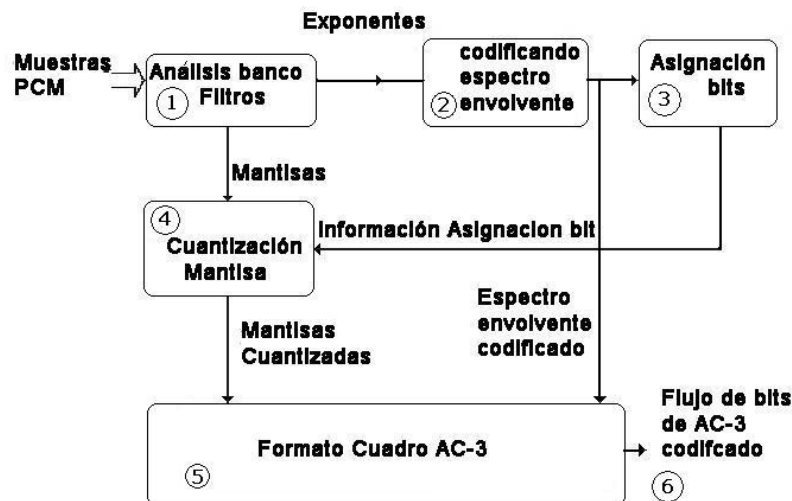
El AC-3 es un sistema multicanal y completamente digital, el formato multicanal es 5.1, la que provee cinco canales de sonido de frecuencia completa y uno extra para resaltar las frecuencias bajas. Puede llevar de 1 a 5.1 canales.

Esto provee cinco canales de rango completo 3Hz a 20,000 Hz. in que es algunas veces referido como una configuración ``3/2``. Un sexto canal de efectos de bajo únicamente es agregado, también llamado Canal de enriquecimiento de bajas frecuencias, Low frequencies enhancement channel (LFE). De aquí el termino 5.1 canales.

AC-3 esta diseñado para proveer sonido envolvente real, por ello el sistema AC-3 incluye información acerca de la habitación y diferencia en dB entre los niveles de los canales.

Como en MP3 se utiliza las propiedades de enmascaramiento de sonidos para alcanzar su compresión. La entradas de las muestras sin comprimir deben ser 32, 44.1 o 48Khz hasta 20 bits.

Figura 29 Diagrama de bloques de la codificación AC-3



Fuente: Dolby Laboratories <http://www.mp3-tech.org>

- 1) El primer paso en la codificación AC-3 es la transformación de la representación de audio de una secuencia de muestras PCM, en el dominio del tiempo, a una secuencia de bloques de coeficientes de frecuencias. Este primer paso se realiza en el banco de filtros de análisis.

En este banco de filtros se traslapan bloques de 512 muestras en el tiempo, luego se multiplican por una ventana de tiempo y se transforman al dominio de la frecuencia.

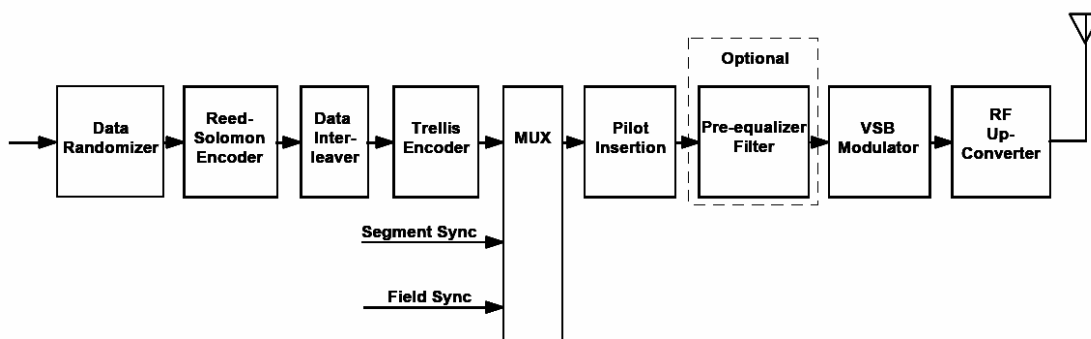
Debido a el traslape de los bloques, cada muestra de entrada PCM es representada en dos series de bloques transformados. La representación en el dominio de la frecuencia es reducido por una factor de dos, entonces cada bloque contiene 256 coeficientes de frecuencia. Las frecuencias individuales se representan en notación exponencial binaria como un exponente binario y una mantisa.

- 1) El juego de exponentes es codificado en una sencilla representación del espectro de la señal la cual es referida al espectro envolvente
- 2) Este espectro envolvente es usado por la rutina de Asignación de bits la cual determina cuantos bits se utilizarán para codificar cada mantisa.
- 3) La mantisa es cuantizada según la información sobre asignación de bits
- 4) El espectro envolvente y las mantisas cuantizadas por 6 bloques de audio (1536 muestras de audio) son codificadas en un cuadro AC-3.
- 5) El flujo bits del AC-3 (desde 32 a 640 Kbps) es una secuencia de cuadros AC-3.

4.1.2. Modulador 8 VSB

El transmisor 8 VSB se divide en dos partes esenciales la primera es la sección de procesamiento de datos, y la segunda es la sección de procesamiento de la señal.

Figura 30 Excitador 8VSB



Fuente: **ATSC Standard: Digital Television Standard, Revision B with Amendments 1 and 2. 2003** Doc A53/B Pág.60

Esto se utiliza para sincronizar los símbolos de salida en una SFN que serán transmitidos debido a que estos datos son recibidos en forma separada (audio, video , datos auxiliares) que alimentan la entrada del transmisor.

4.1.2.1. Sincronización de datos

Aunque este paso no esta como diagrama de bloques es el primero que se realiza. Lo primero que el excitador 8vsb realiza es la identificación de cada paquete de datos MPEG2. Esto lo realiza a través del byte de sincronización que se transporta al inicio de cada paquete MPEG2.

Hay que recordar que cada paquete de MPEG2 esta formado por 188 bytes y que el primer byte es el de sincronización. Este byte de sincronización es removido y será remplazado por un segmento de sincronización ATSC en otro proceso.

4.1.2.2. Aleatorización de datos

El flujo de bits pasa por un proceso que genera una señal aleatoria a partir del flujo de datos MPEG2. Con este procedimiento se logra tener un espectro de frecuencia uniforme y así aprovechar al máximo el ancho de banda permitido para la transmisión.

Esto se realiza para evitar que en el flujo de datos genere un patrón repetitivo generando una ritmo recurrente y provocando que la mayor parte de la energía de la señal de datos que ha de ser enviada se concentre en una pequeña fracción del ancho de banda disponible, sobrecargando la transmisión en esa frecuencia y no aprovechando eficientemente el resto del ancho de banda que se tiene para realizar dicha transmisión.

Además, los patrones de ritmos pueden ser más perceptibles por los receptores de señales NTSC y crear así interferencia del servicio digital con el analógico.

Para el sistema ATSC se utiliza un código seudo aleatorio para lograr la aleatorización de datos antes mencionada.

4.1.2.3. Codificador reed-solomon

Esta codificación es aplicada a cada paquete en el tren de transporte para corregir errores. La codificación reed-solomon es uno de varios esquemas de corrección adelantando errores, *forward error correccion* (FEC).

El codificador reed-solomon toma los 187 bytes que han quedado del paquete de datos MPEG 2 después de eliminar el byte de sincronización. Estos se toman como un solo bloque, y son manipulados matemáticamente para crear una etiqueta digital de identificación del contenido de dicho bloque. Esta etiqueta se forma con 20 bytes adicionales que son agregados al final del paquete de 187 bytes. Sumando en total 207 bytes.

Estos 20 bytes adicionales se les llaman bytes de paridad Reed-Solomon.

4.1.2.4. Intercalador de Datos (Data interleaver)

En este paso se revuelven el orden del flujo de datos y se dispersa el paquete MPEG2 a través del tiempo, en una rango de 4.5 milisegundos con el uso de buffers de memoria, para minimizar la sensibilidad a la interferencia

En este proceso se ensamblan nuevos paquetes de datos incorporando pequeños fragmentos de diferentes paquetes MPEG2 previamente intercalados en un nuevo paquete. Estos nuevos paquetes datos son de la misma longitud que los paquetes MPEG2 originales; es decir, su longitud es de 207 bytes, después de la codificación reed-solomon.

Si cada paquete únicamente pierde un pequeño número de bytes el decodificador Reed-solomon del receptor de televisión digital es capaz de corregir los errores y recuperar la información.

4.1.2.5. Trellis Coding

La codificación trellis es otra tipo de corrección adelantando el error (FEC). Esta es distinta a la codificación reed-solomon, el cual trata todo el paquete MPEG 2 como un solo bloque.

La codificación trellis realiza la codificación a partir de la evolución del flujo de datos. Es decir, toma el progreso del flujo de datos como este se desarrolla a través del tiempo y en base a este genera su código. A la codificación reed-solomon se le conoce como una codificación de bloque, y a la codificación Trellis se le conoce como una codificación convolucional.

Para esta codificación, cada 8 bits de una byte son divididos en un tren de cuatro palabras de dos bits. En el codificador trellis cada palabra de dos bits que llega es comparada a la historia de la palabra de dos bits previa. Un código de tres bits es matemáticamente generado para describir la transición de las palabras de dos bits.

Estos códigos de tres bits sustituyen las palabras de dos bits anteriores y se transmiten en el aire como un símbolo de ocho niveles. Ya que un código de tres bits nos proporciona ocho combinaciones o niveles.

Por cada dos palabras que van a el codificador trellis, tres bits son generados en la salida. Por ello el codificador trellis en el sistema 8 vsb es un codificador con una razón 2/3 de codificación.

El decodificador trellis en el receptor usa los tres bits de transición recibidos para reconstruir la evolución del flujo de datos de una palabra de dos bits a la siguiente.

4.1.2.6. Inserción de la sincronización y la señal piloto

Existen señales que permiten la sincronización de la etapa de transmisión y recepción, estas son la señal piloto ATSC y los campos y segmentos de sincronización ATSC. Estas permiten que el sistema sea mucho más confiable ante el ruido y la interferencia.

Estas señales que proveerá la sincronización de la transmisión se insertan en la de señal después de la aleatorización y las etapas de codificación de errores para no destruir la relación de tiempo y amplitud ya arreglados por las etapas anteriores y así estas señales sean colocadas correctamente.

La primera señal de ayuda es el piloto ATSC. Para esta señal antes de la modulación, se agrega un cambio en el nivel de DC a la señal de banda base de ocho niveles.

Esto causa una pequeña portadora residual que aparece en la frecuencia cero (de la portadora sin modular) Esta es la señal piloto ATSC.

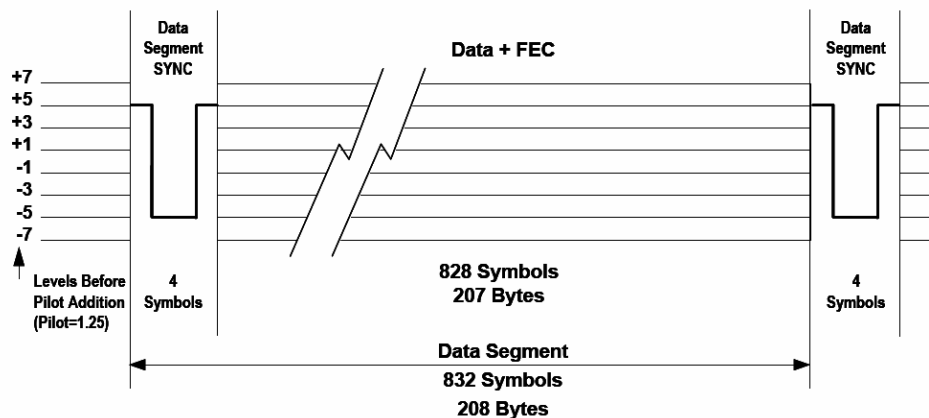
Esto le da a los circuitos de radiofrecuencia de lazo de enganche de fase (RF PLL) del receptor de DTV algo en que basar la sincronización y que sea independiente de los datos transmitidos. En otras palabras esta señal piloto permite que se enganche el receptor a la señal recibida logrando una correcta sincronización entre la señal recibida y el receptor.

Las restantes señales auxiliares son el segmento y el campo de sincronización ATSC.

El segmento de datos ATSC se componen 828 símbolos de ocho niveles producidos a partir la codificación trellis que ha sido realizada a los 207 bytes provenientes de un paquete de datos intercalado. Al inicio de cada segmento de datos un segmento de sincronización ATSC es agregado al inicio, este segmento esto formado por un pulso de cuatro símbolos y reemplaza al byte de sincronización MPEG 2 perdido del paquete original de datos MPEG2.

El segmento de sincronización aparece una vez cada 832 símbolos y siempre toma el mismo patrón un pulso positivo, negativo, positivo alternando entre los niveles +5 y -5. En el receptor se utiliza para reconstruir el sistema de reloj y muestrear adecuadamente la señal recibida. Un segmento de datos es análogo a una línea en NTSC

Figura 31 Segmento de Datos 8 VSB



Fuente: ATSC Standard: Digital Television Standard, Revision B with Amendments 1 and 2.2003 Doc A53/B Pág.51

Por las características del segmento de sincronización, alta frecuencia de repetición, gran nivel barrido y una extensa duración, hace posible que el receptor pueda distinguirlo. Esto permite recuperar una señal de reloj aun en presencia de ruido y de interferencia o cualquier cambio en el canal de transmisión.

Un campo de datos se forma combinando trescientos trece segmentos de datos. Mientras que un campo de sincronización esta formado por un segmento de datos que es repetido en cada campo, es análogo al intervalo vertical del NTSC.

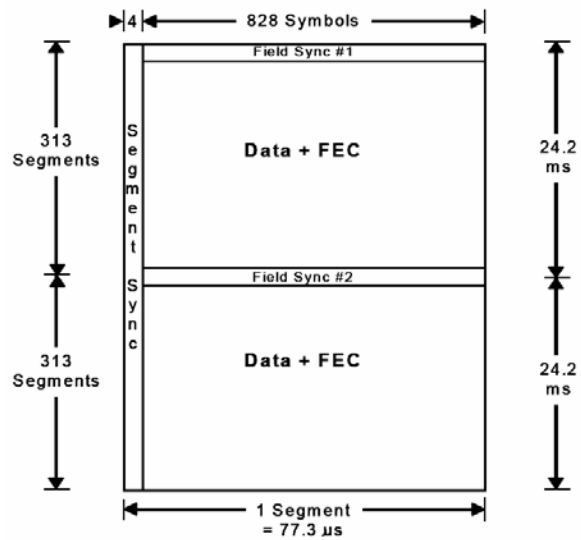
El campo de sincronización ATSC utiliza un patrón establecido de pulsos positivo-negativo y es utilizado por el receptor para eliminar las señales fantasmas causadas por una pobre recepción.

La cancelación de señales fantasmas se realiza comparando el campo de sincronización recibido con errores contra la secuencia establecida del campo de sincronización antes de la transmisión. De esta comparación resulta un vector de error con el cual se ajusta el ecualizador de cancelación de fantasmas en el receptor.

Este proceso permite que en el sistema de televisión digital no aparezcan los fantasmas que aparecen en la televisión analógica y da una gran robustez a al recuperación del reloj y así sea establecida una exitosa sincronización.

Para entender mejor los conceptos antes referidos se presenta la siguiente grafica de cuadro de dato VSB

Figura 32 Cuadro de datos VSB



Fuente: ATSC Digital Television Standard docA/53 Pag.52

4.1.2.7. Modulación 8 VSB

Finalmente se realiza una modulación de amplitud que es aplicada a la señal banda base de ocho niveles incluyendo las señales de sincronización y el nivel de DC agregado.

Primero se modula con una frecuencia intermedia. De esta primera modulación se obtiene un espectro en el cual existe una gran redundancia de información y la cual sobre pasa en gran medida el ancho de banda que es asignado a un canal de radio frecuencia.

Esta redundancia de información se elimina con la utilización de filtros dejando únicamente la sección mínima que nos permita transmitir adecuadamente la información completa. Recordando el teorema de Nyquist, es necesario únicamente la mitad del ancho de banda para transmitir una señal digital en una frecuencia de muestreo dada.

Sin embargo al filtrar la señal envolvente la forma inicial de los bordes de cada pulso se pierden y se genera una señal oscilante. Formandose de esta manera un traslape de símbolos ya que el residuo de los pulsos procedentes y de los pulsos precedentes se mezclan con la señal del símbolo actual.

Cuando se muestrea la señal en el receptor no se hace durante todo el tiempo de la transmisión sino únicamente durante el tiempo de muestreo. En el resto del intervalo de tiempo de transmisión la forma de onda no interesa.

Si se realiza adecuadamente el filtrado de la señal, los símbolos resultan ortogonales entre sí. De esta manera, el valor pico máximo de cada símbolo ocurre justamente cuando se da el muestreo, y en ese preciso instante del tiempo en las demás señales ocurre un cruce por cero, en el valor de su amplitud.

Entre los demás intervalos de muestreo, la forma de onda envolvente resultante es la suma de todas ondas S_a de los símbolos previos y futuros.

La señal restante de los símbolos precedentes y futuros forma una señal puntiaguda parecida al ruido blanco.

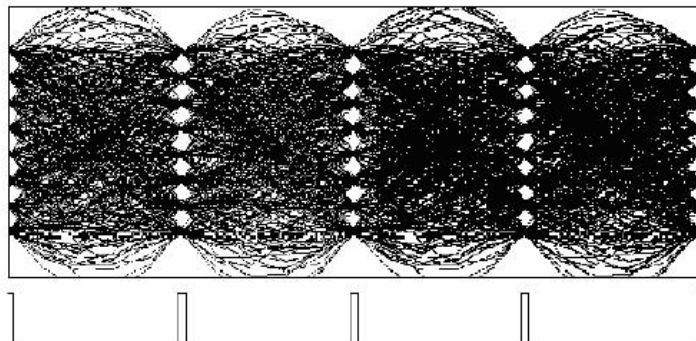
4.1.2.7.1. Representaciones de la modulación 8-VSB

Existen dos formas de representar la señal que se modula en el sistema 8-VSB. Las cuales se presentan a continuación.

4.1.2.7.1.1. Diagrama de ojo

Este diagrama presenta las distintas posibilidades de los ocho valores que puede tomar la señal. La unión de todos los trazos de estas posibilidades forma siete ojos que coinciden con la ocurrencia de los pulsos de reloj en el receptor.

Figura 33 Representación señal 8 VSB, Diagrama de ojo.



Pulsos de muestreo del receptor

De cada muestra en el tiempo, la amplitud remodulada de la señal 8vsb suma un de ocho niveles posibles. El efecto muestra la creación de siete "ojo" verticales que pueden cerrarse y desaparecer, cuando la señal de RF no posee la amplitud correcta en el preciso instante.

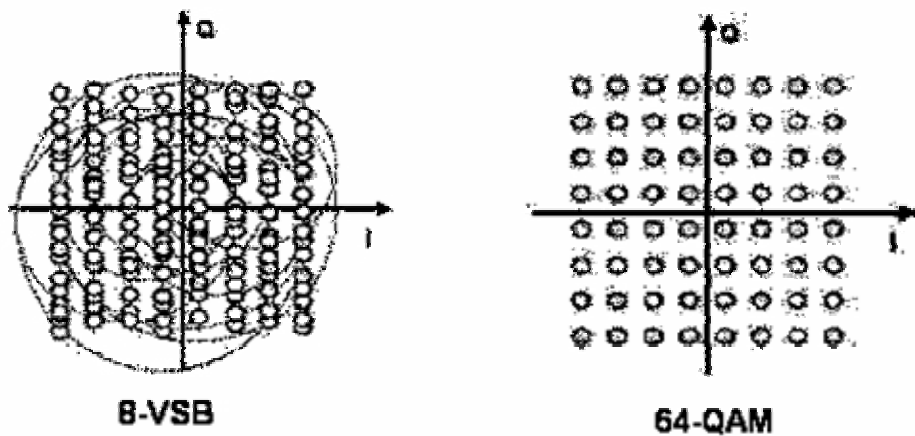
Fuente: David Sparano **What exactly is 8-vsbs anyway?** Pág. 12

4.1.2.7.1.2. Constelación de la señal 8-VSB

La otra representación de la señal 8-VSB es muy parecida a la utilizada por QAM. Esta es una gráfica bidimensional de la amplitud y la fase de la portadora 8VSB en cada tiempo de muestreo.

La diferencia básica entre la representación QAM y esta representación es que en la representación 8-VSB, la información digital es transmitida exclusivamente por la amplitud de la envolvente de la señal y no en la fase.

Figura 34 Modulación 8 VSB vrs. Modulación 64 QAM



Esta gráfica muestra la semejanza entre la representación de la constelación de la señal 8 VSB y la modulación QAM-64. Sin embargo la señal 8VSB no lleva información en la fase de la señal.

Fuente: David Sparano. **What exactly is 8-vsbs anyway?** Pág. 13 Principal Engineer with Harris Corporation Broadcast Division in Quincy, Illinois.

4.1.2.8. Conversión analógica

Con la señal de banda lateral vestigial de frecuencia intermedia, el proceso de la señal es el mismo que se utiliza en cualquier transmisión. Esta señal pasa los siguientes circuitos: uno oscilador, un mezclador y un filtro.

El oscilador permite generar la frecuencia a la cual la estación de televisión transmitirá su programación, el mezclador permite elevar la frecuencia de la señal modulada de la frecuencia intermedia a el valor de frecuencia asignado al canal, ya sea en banda de UHF o en la banda VHF.

Luego esta señal es enviada al transmisor de DTV. El transmisor básicamente es un amplificador de potencia tradicional para aplicaciones de radiofrecuencia.

A la salida del transmisor se coloca un filtro de alta potencia, el cual permite eliminar cualquier señal que produzca el transmisor debido a su falta de linealidad y así evitar señales fuera del ancho de banda asignado a dicho canal.

4.1.3. Federal Communication (FCC).

La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) es una agencia independiente de los Estados Unidos, es la entidad encargada de la legislar todo lo referente a las comunicaciones en Estados Unidos.

Esta institución fue la encargada de la aprobación del estándar ATSC en Estados Unidos.

4.2. Digital Video Broadcasting (DVB)

Tomando como base la el modelo ITU-R para la transmisión de un canal de televisión digital terrestre utilizado en el ATSC, podemos realizar la siguiente comparación.

Para el subsistema de video en el sistema DVB se utiliza la sintaxis de flujo de video MPEG-2 para la codificación y compresión de video. Los formatos permitidos para el DVB se detallan en el capítulo 3 de este documento.

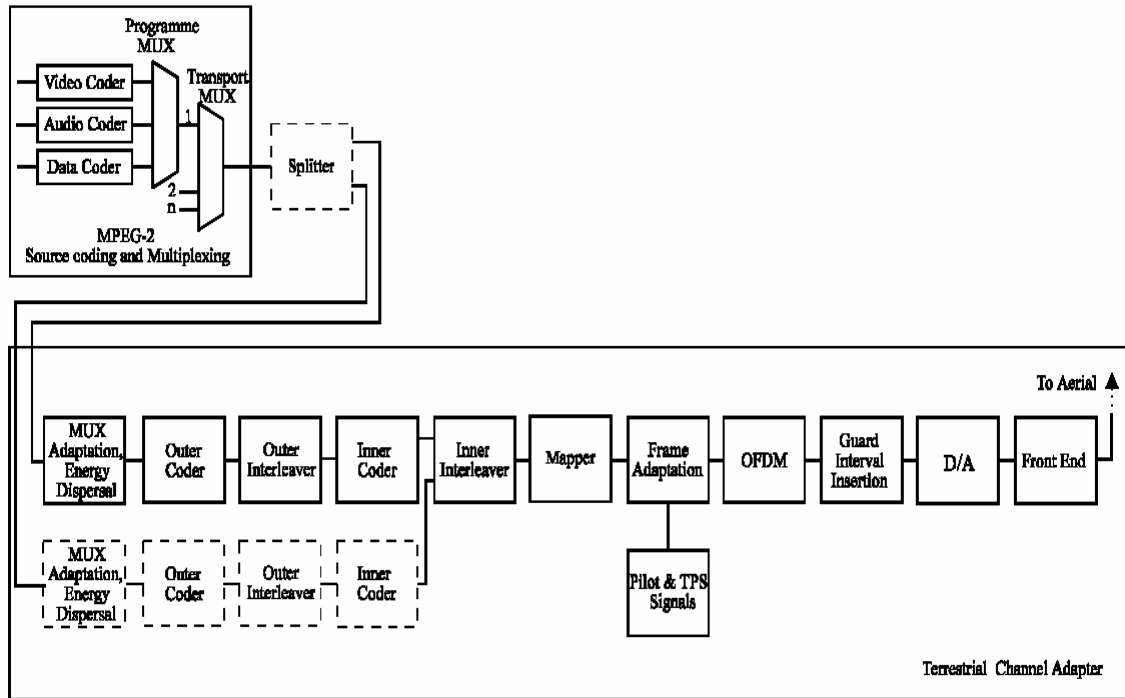
Para el subsistema de audio se utiliza la capa I y capa II y se recomienda la utilización de flujo de bits de la capa II del MPEG-2 que se explico en el capítulo 2 de este documento. Para la capa de transporte y multiplexación se utiliza el flujo de transporte MPEG-2. En la etapa de sistema de transmisión de RF se utiliza la Modulación por división de frecuencia ortogonal codificada.

4.2.1. Modulación por división de frecuencia ortogonal codificada.

Por sus siglas en ingles COFDM (Coded Ortogonal Frequency Division Multiplex).Este esquema es el utilizado en DVB para la transmisión de la señal de video audio y datos auxiliares.

El esquema del modulador de COFDM se muestra a continuación:

Figura 35 Diagrama funcional de bloques del sistema DVB



Fuente: Digital Video Broadcasting (DVB); **Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television** ETSI EN 300 744 V1.4.1 (2001-01) pág. 10

La señal lleva según el diagrama el siguiente proceso:

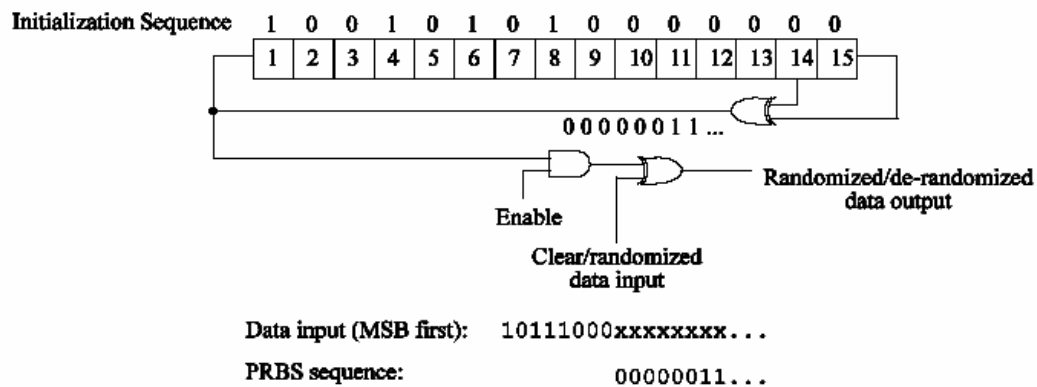
4.2.1.1. Adaptación del transporte multiplexado y dispersión de energía.

La señal de entrada al codificador COFDM es un tren de datos multiplexados provenientes de diferentes programas, en donde cada programa cuenta con una señal de audio, video y datos. Este tren de datos es el Tren de transporte MPEG-2 y que esta formado por paquetes de 188 bytes incluyendo el byte de sincronismo como se describió en el capítulo 2.

Esta señal se sufre un proceso de adaptación para su posterior transmisión. En esta etapa se organizan los paquetes de datos de entrada y se realiza un aleatorización para lograr un espectro de onda uniforme. Esta aleatorización se logra a través de un polinomio generador de una Secuencia Binaria Pseudo Aleatoria PRBS (Pseudo Random Binary Sequence).

Que se genera por es siguiente diagrama

Figura 36 Diagrama esquemático del aleatorizador



Fuente: Digital Video Broadcasting (DVB); **Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television** Doc. ETSI EN 300 744 V1.4.1 2001 Pág. 11.

El polinomio generador de la secuencia binaria pseudo aleatoria es:

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

4.2.1.2. Codificador reed-solomon

Como ya se mencionó en el estándar ATSC esta codificación es para prevenir errores y tener un método de corrección se estos llegan a darse durante la transmisión.

En DVB a esta etapa se le llama codificador externo. En total se forma un nuevo paquete de 204 bytes para los 188 bytes de entrada, este método permite corregir hasta ocho bytes con errores aleatorios de una palabra recibida de 204 bytes.

4.2.1.3. Intercalado convolucional

Este proceso se intercala la información de diversos paquetes de datos ya formados, permite que cuando algún paquete es afectado por ruido o por interferencia esta afecta solamente pequeñas porciones de datos de cada paquete permitiendo que con la utilización de codificación como la reed-solomon se puedan recuperar los datos perdidos. Tiene la misma función que la ya explicada en el estándar ATSC.

4.2.1.4. Codificador interno

Este sistema permite un cadena de códigos convolucionales perforados, basados en un código madre convolucional de tasa $\frac{1}{2}$ con 64 estados.

Esto permitirá seleccionar el nivele mas apropiado de corrección de errores para un servicio dado o velocidad de datos en cualquiera de los modos de transmisión, jerárquica o no jerárquica.

En este proceso de codificación primero se forman dos flujos de datos idénticos son producidos del flujo del codificador externo. Estos flujos se muestran en el siguiente diagrama como las señales X y Y.

Figura 37 Codificador interno e intercalador

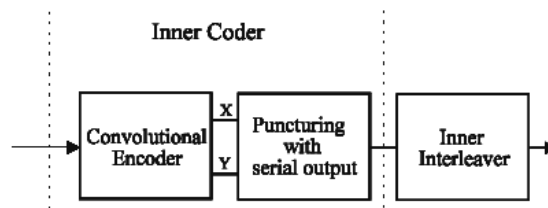
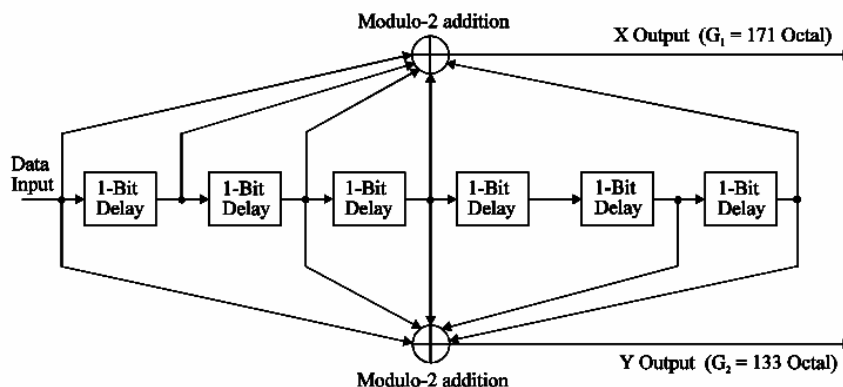


Figure 6: Inner coding and interleaving

Fuente: Digital Video Broadcasting (DVB); **Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television** Doc. ETSI EN 300 744 V1.4.1 2001 Pág. 14.

Este primer proceso es una codificación convolucional. En el siguiente diagrama se muestra el proceso de la codificación convolución. En este caso se utiliza una tasa de codificación de $\frac{1}{2}$

Figura 38 Código madre convolucional con tasa de codificación 1/2



Fuente: Digital Video Broadcasting (DVB); **Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television** Doc. ETSI EN 300 744 V1.4.1 2001 Pág. 14.

Un flujo de salida es formado de la combinación de estos nuevos flujos, de esta forma se forma señal de datos en serie a partir de la codificación convolucional.

En el proceso de perforación del código, no todos los bits simultáneos son tomados- dentro de una taza definida. (las tasas de codificación son $\frac{1}{2}$ $\frac{2}{3}$ $\frac{3}{4}$ $\frac{5}{6}$ y $\frac{7}{8}$)

Existen distintas tasas de perforación del código, este valor afecta directamente la velocidad de datos en la siguiente tabla se presentan las tasas de codificación así como su secuencia de transmisión.

Tabla XII Patrón de perforación y secuencia de transmisión después de la conversión paralelo serial para las posibles tasas de codificación

Code Rates r	Puncturing pattern	Transmitted sequence (after parallel-to-serial conversion)
1/2	X: 1 Y: 1	$X_1 Y_1$
2/3	X: 1 0 Y: 1 1	$X_1 Y_1 Y_2$
3/4	X: 1 0 1 Y: 1 1 0	$X_1 Y_1 Y_2 X_3$
5/6	X: 1 0 1 0 1 Y: 1 1 0 1 0	$X_1 Y_1 Y_2 X_3 Y_4 X_5$
7/8	X: 1 0 0 0 1 0 1 Y: 1 1 1 1 0 1 0	$X_1 Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 X_5 Y_6 X_7$

Fuente: Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television Doc. ETSI EN 300 744 V1.4.1 2001 Pág. 13.

La taza de perforación afecta directamente la velocidad de datos que finalmente se obtendrá. La cantidad de codificación es referida como la tasa de codificación, se cuantifica por un fracción adimensional K/n en donde n indica el número de bits de salida de el codificador dado y K los bits de entrada.

Seguidamente se realiza una etapa de intercalado interno, este consiste en un Intercalado de bits seguido de un intercalado de símbolos. Ambos son procesos basados en bloques.

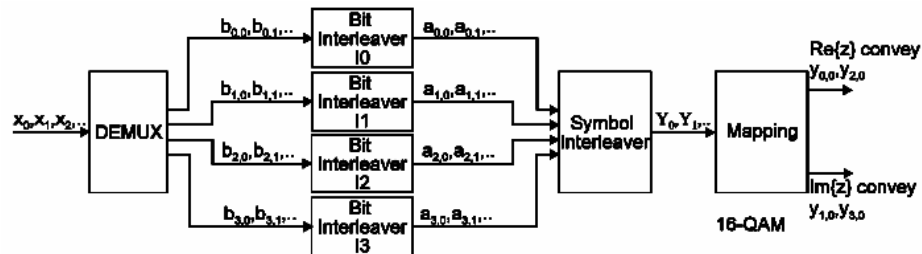
La entrada al intercalado de bit consiste de dos flujos de bits, este es demultiplexado en v subflujos, donde $v = 2$ para QPSK, $v = 4$ para 16-QAM y $v = 6$ para 64-QAM.

En el modo no jerárquico la señal de entrada simple es demultiplexada en v subflujos. Para el modo jerárquico el flujo de alta prioridad es demultiplexado en dos subflujos y el de flujo de baja prioridad es demultiplexado en $v-2$ subflujos.

La salida del intercalador de bits es una serie de bits en paralelo los cuales alimentan a un intercalador de símbolos. El propósito de este intercalador de símbolos es hacer un mapa de palabras de v bits, en las 1,512 (modo 2K) o 6,048 (modo 8K) portadoras que actúan en el proceso de modulación OFDM.

Para entender mejor los conceptos anteriores, se incluye el siguiente esquema. En el cual se muestra el mapeo para un esquema de modulación 16-QAM.

Figura 39 Mapeo de datos utilizando 16QAM en modulación no jerárquica.



Fuente: Digital Video Broadcasting (DVB); **Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television** Doc. ETSI EN 300 744 V1.4.1 2001 Pág. 16.

4.2.1.5. Mapeo y modulación

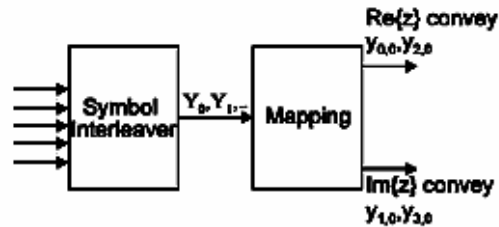
El DVB utiliza la Multiplexión por división de frecuencia ortogonal. Todas las portadoras en un cuadro OFDM son modulados usando cualquiera de las constelaciones QPSK, 16QAM, 64 QAM, o 16QAM y 64 QAM no uniforme.

Para el mapeo se utiliza el código Gray, que como se recordará se genera buscando la palabra que realice el menor cambio entre la palabra actual y la siguiente, con esto se evitan cambios abruptos en la señal.

Los esquemas de modulación permitidos para DVB permiten incrementar la capacidad de transmisión de un canal, sin necesidad de aumentar su ancho de banda. El valor que se ha de tomar en cuenta es el ruido del canal para lograr la máximo capacidad del canal.

La señal que hasta hora se tiene se transmite a través de símbolos, los cuales pueden formarse de 6 bits en 64-QAM, 4 bits en 16-QAM y de 2 en QPSK. Cada serie de bits en paralelo es entonces convertida en un símbolo. Este se convierte en un nivel de señal analógica y luego se transmite. Como se muestra en el siguiente diagrama de bloques.

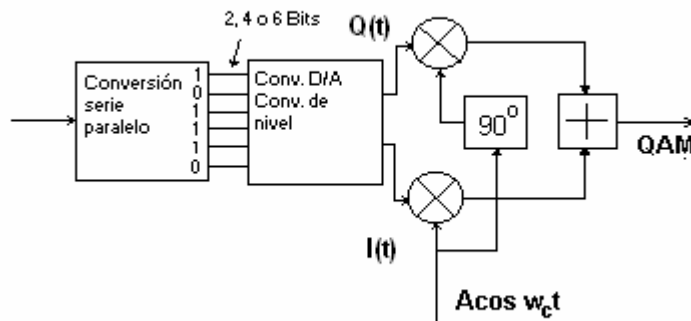
Figura 40 Mapeo de símbolos



Fuente: Digital Video Broadcasting (DVB); **Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television** Doc. ETSI EN 300 744 V1.4.1 2001 Pág. 17.

La salida del proceso de mapeo son dos señales, estas pasan a modular en amplitud dos señales senoidales con la misma frecuencia pero con fase distinta, estas señales están en cuadratura, una 90 grados de la otra. Luego estas señales se suman, de esta manera cada señal entrante al sumados posee cierta amplitud, signo (positivo o negativo) y fase (en fase o en cuadratura) la unión en el sumador de estos parámetro general el valor y la posición en de los símbolo dentro de la constelación que se esta utilizando. Es esquema de abajo muestra el proceso de modulación QAM

Figura 41 Diagrama de bloques de la modulación QAM



Fuente: Taub, Herbert y Donald Shilling **Principles of communication systems**, Singapore: McGraw Hill 1986 274.

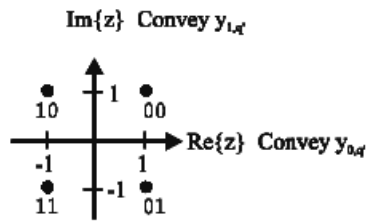
La salida de la modulación es una señal con la siguiente función

$$S(t) = I(t) \cdot A \cdot \cos(Wt) + Q(t) \cdot A \cdot \sin(Wt).$$

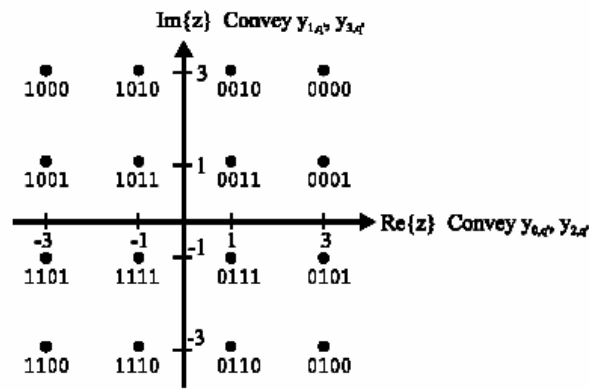
La proporción exacta de las constelación dependen de un parámetro α , el cual es la distancia mínima de separación de dos puntos de una constelación que llevan diferentes bits de alta prioridad dividido por la mínima distancia de separación de dos puntos cualquiera de la constelación; por ejemplo con $\alpha = 4$, la separación de los símbolos de distintos cuadrantes es cuatro veces la separación de los símbolos dentro del mismo cuadrante. Los valores permitidos para α son 1, 2 y 4

A continuación se presentan las constelaciones permitidas que resultan de la utilización de estos valores y de las modulaciones ya mencionadas.

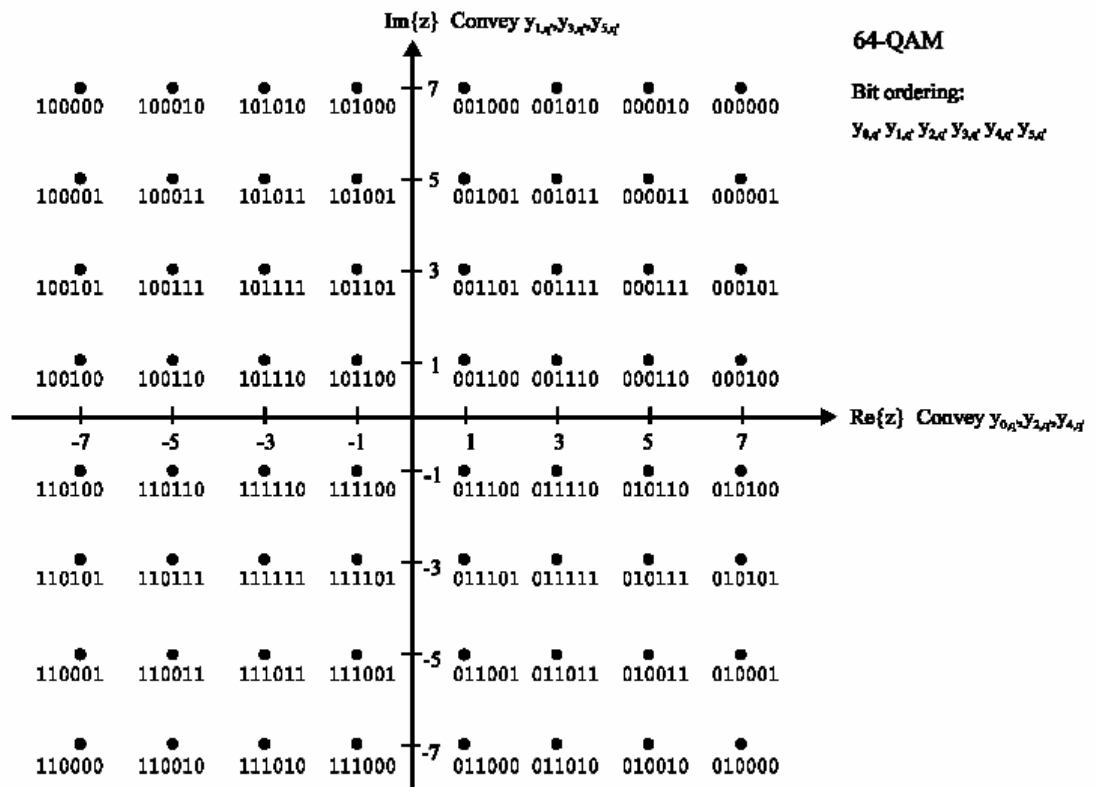
Figura 42 Mapas de la modulación QPSK, 16-QAM, 64-QAM y los patrones de los bits, para modulación jerárquica y no jerárquica con $\alpha=1$.



QPSK
 Bit ordering:
 $y_{0,\alpha} y_{1,\alpha}$



16-QAM
 Bit ordering:
 $y_{0,\alpha} y_{1,\alpha} y_{2,\alpha} y_{3,\alpha}$



Fuente: Digital Video Broadcasting (DVB); **Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television** Doc. ETSI EN 300 744 V1.4.1 2001 Pág. 21.

Fig. 43 Mapas para modulación no uniforme 16-QAM y 64 QAM para un $\alpha=2$

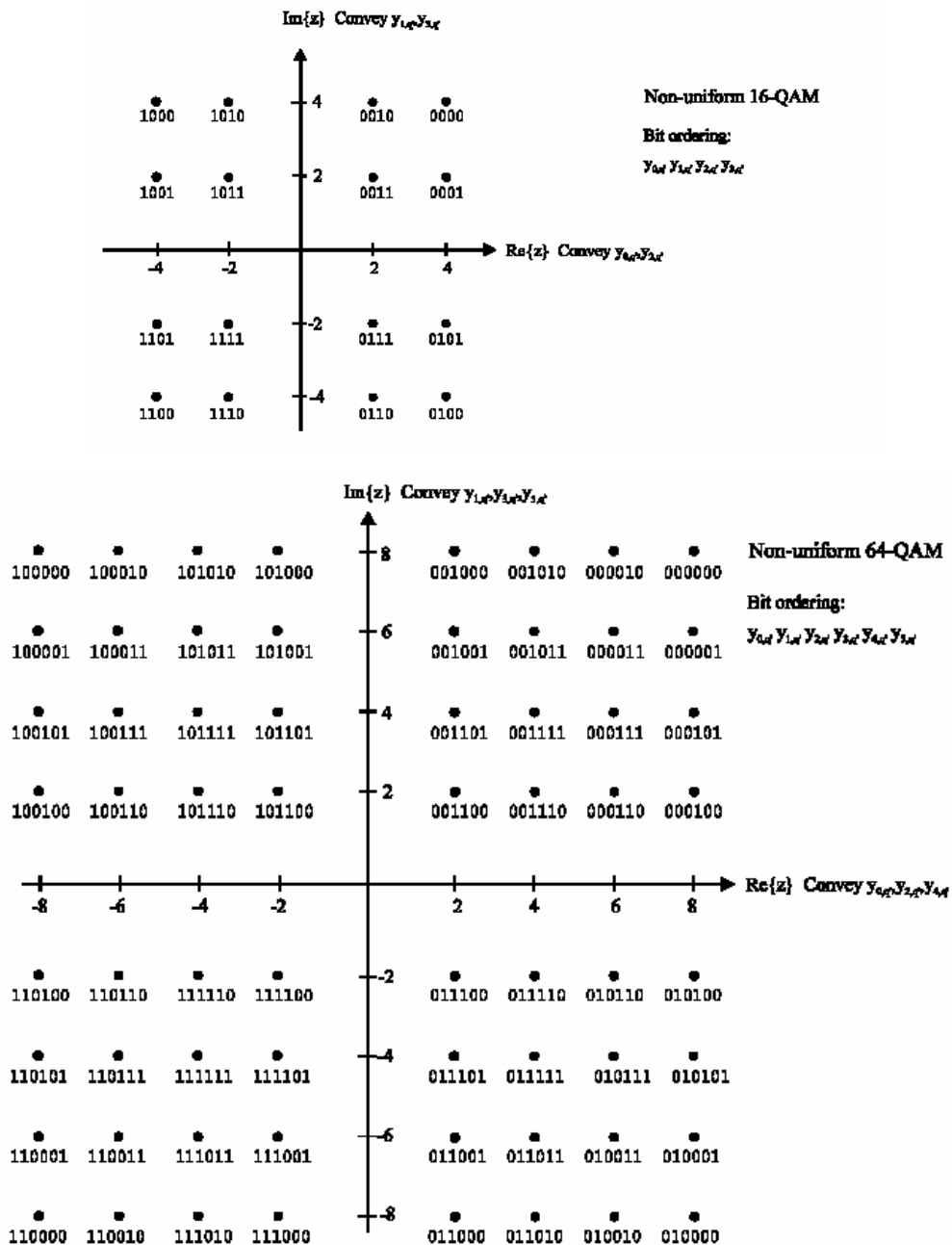
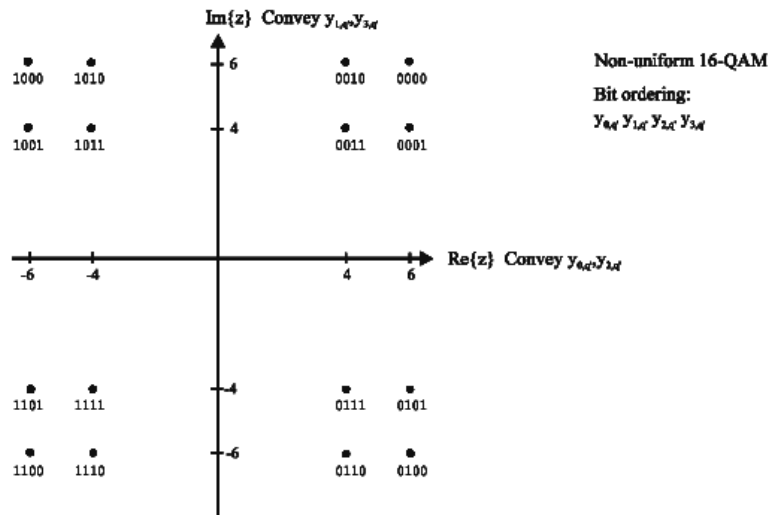


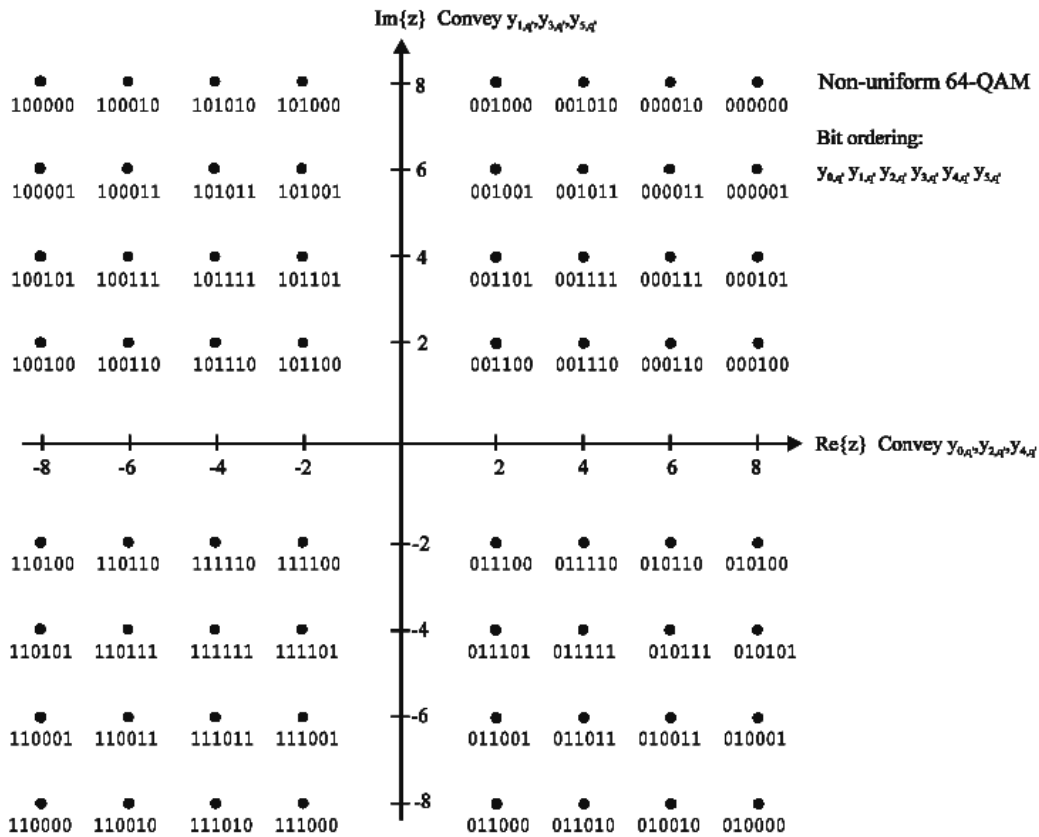
Figure 9b: Non-uniform 16-QAM and 64-QAM mappings with $\alpha = 2$

Fuente: Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television Doc. ETSI EN 300 744 V1.4.1 2001 Pág. 22.

Figura 44 Mapas para modulación no uniforme 16-QAM y 64 QAM para un $\alpha=4$



Continuación figura 44



Fuente: Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television Doc. ETSI EN 300 744 V1.4.1 2001 Pág. 23.

4.2.2. Modulación jerárquica

En el DVB se permite la transmisión jerárquica la cual consiste en enviar dos flujos de datos separados en un único flujo de datos. Cada uno de estas flujos lleva la información de la programación que se está transmitiendo; sin embargo, está diseñado para distinto tipo de receptor.

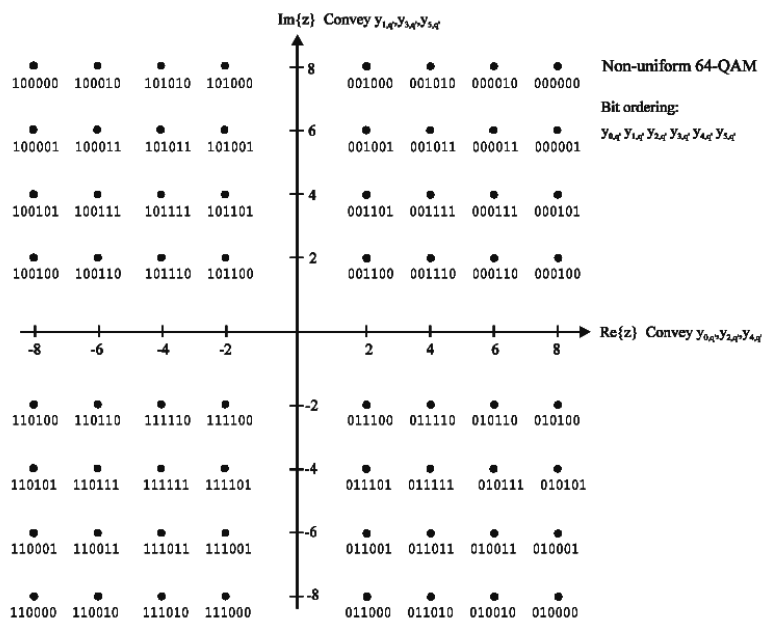
Un flujo se denomina flujo de alta prioridad "HP", está inmerso de un flujo de baja prioridad "LP". Los receptores con buenas condiciones de recepción pueden recibir ambos flujos, y los que se encuentran bajo condiciones de recepción pobres solamente reciben el flujo de alta prioridad.

Entonces cuando se transmite por ejemplo utilizando QAM-64, con un $\alpha = 2$, puede notarse que en un solo cuadrante existe una modulación QPSK escondida o inmersa. Este cuadrante forma la señal de alta prioridad, la separación α sirve para separa los flujos de los distintos cuadrante de tal manera que sea más fácil para el receptor distinguirlos.

Explicando más a fondo la modulación jerárquica, podemos decir que siguiendo con el ejemplo anterior. De los 6 bits enviados por símbolo cuando se modula con QAM-64, los dos bits más significativos son los usados para enviar el servicio HP mientras que los cuatro bits restantes se utilizan para el flujo de LP

Para terminar de ilustrar la modulación jerárquica se presenta la siguiente gráfica.

Figura 45 Mapa para modulación no uniforme y 64 QAM para un $\alpha=4$.



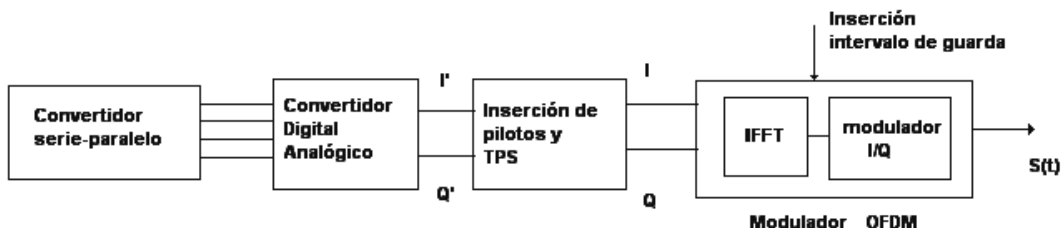
Fuente: Digital Video Broadcasting (DVB); **Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television** Doc. ETSI EN 300 744 V1.4.1 2001 Pág. 22.

Siguiendo con el ejemplo mencionado, de la codificación QAM-64 se toman los primeros dos dígitos para el flujo de alta prioridad, puede notarse que en un cuadrante específico, por ejemplo en el primer cuadrante todos los símbolos representados inician con los bits 00, estos se usan para el flujo de alta prioridad HP y el receptor captará la transmisión como si la señal estuviera modulada como QAM-4, los restantes bits son los del cuadrante son los que cambian y estos se utilizan para el flujo de baja prioridad LP, dado que se repiten las secuencias de los bits de baja prioridad en cualquiera de los siguiente cuadrantes, el receptor del flujo de baja prioridad recibirá la señal como si se estuviera transmitiendo con el esquema QAM-16 para LP. Hay que recordar que la transmisión total del ejemplo se esta realizando en QAM-64. Esto se aplica muy bien para las transmisiones dirigidas a receptores fijos y/o a receptores móviles.

4.2.3. Adaptación del cuadro OFDM

Luego de utilizar cualquiera de las constelaciones permitidas para el mapeo de la señal en DVB para ser modulada, se procede a efectuar un último paso que consiste en la organización de la señal a ser transmitida en cuadro.

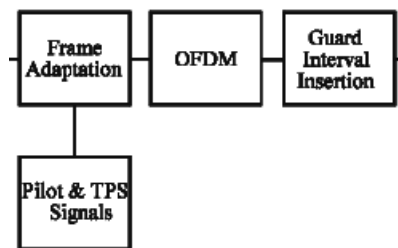
Figura 46 Diagrama de bloques adaptación cuadro OFDM



Fuente: Ing. Ing. Roberto Lauro. Cuaderno Técnico No. 6 Segunda Parte **Transmisión: COFDM**. Cuyo Televisión S.A. Argentina. Pág. 15

En el diagrama de arriba se muestra el proceso de mapeo, anteriormente descrito, y luego continúa la parte de adaptación del cuadro OFDM. El diagrama de bloques siguiente sirve para ubicar las siguientes partes del proceso a efectuar.

Figura 47 Sección del proceso de codificación de canal en DVB



Fuente: Digital Video Broadcasting (DVB); **Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television** Doc. ETSI EN 300 744 V1.4.1 2001 Pág. 22.

Un cuadro de OFDM se compone de la siguiente manera. Cada cuadro tiene una duración de T_f , y consiste en 68 símbolos OFDM; cuatro cuadros constituyen un supercuadro.

Cada símbolo es constituido por un juego de $K=6817$ portadoras en el modo 8K y $K=1705$ portadoras en el modo 2K y transmitido con una duración T_s , y esta compuesto de dos partes; una parte útil con duración T_u y un intervalo de guarda con una duración Δ . El intervalo de guarda consiste en continuación de la parte usable T_u y es insertada antes de esta.

Los símbolos en un cuadro OFDM terminan siendo modulados por varias portadoras, y entonces los símbolos se reparten en las distintas celdas que forman el cuadro OFDM, a cada celda corresponde una portadora modulada separadamente, y la modulación de dicha portadora dura un símbolo completo.

En otras palabras cuando llega los datos de nuestro modulador QPSK o QAM-M el modulador reparte en forma continuada cada símbolo entrante a una sola portadora, así por ejemplo, el símbolo 1 se modula en la portadora 1, el símbolo 2 se modula en la portadora 2 y así sucesivamente. Permitiendo así que se dé un intercalado en el dominio de la frecuencia, con el fin de que si alguna interferencia afecta esa portadora la cantidad de información que se llega a perder es mínima.

Los símbolos en un cuadro OFDM comprende muchas portadora moduladas separadamente, cada símbolo puede es colocado en una celda, a cada celda corresponde la modulación de una portada durante un símbolo.

La señal del cuadro se genera a través de la siguiente función:

$$s(t) = \text{Re} \left\{ e^{j2\pi f_c t} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{67} \sum_{k=K_{\min}}^{K_{\max}} c_{m,l,k} \times \psi_{m,l,k}(t) \right\}$$

$$\psi_{m,l,k}(t) = \begin{cases} e^{j2\pi \frac{k}{TU} (t - \Delta - l \times T_s - 68 \times m \times T_s)} & (l + 68 \times m) \times T_S \leq t \leq (l + 68 \times m + 1) \times T_S \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

de donde:

k es el número de portadora

l es el número del símbolo OFDM

m el número de cuadro de transmisión

K es el número de portadoras transmitidas

TS es la duración del símbolo

TU es la inversa del espacio de las portadoras

Δ es la duración del intervalo de guarda

f_c es la frecuencia central de la señal RF

k' es el índice de la portadora relativo a la frecuencia central, $k' = k - (K_{\max} + K_{\min}) / 2$

$c_{m,0,k}$ símbolo complejo de la portadora k del símbolo de datos no. 1 en el cuadro número m

$c_{m,1,k}$ símbolo complejo de la portadora k del símbolo de datos no. 2 en el cuadro número m

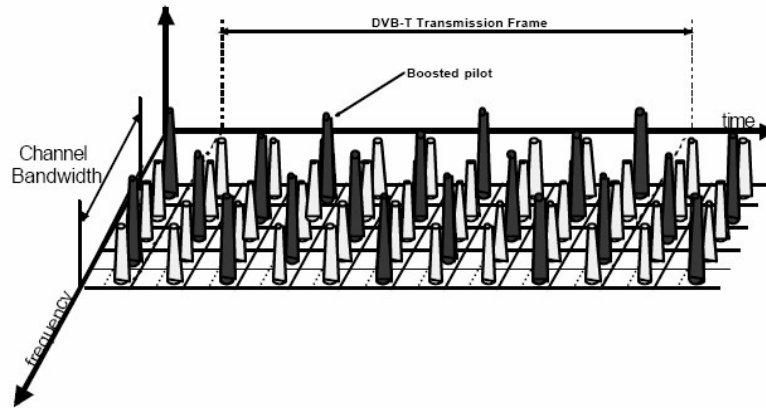
$c_{m,67,k}$ símbolo complejo de la portadora k del símbolo de datos no. 68 en el cuadro número m

Varias celdas en el cuadro OFDM son moduladas con información de referencia cuyo valor transmitido es conocido para el receptor.

Las señales de información están contenidas en las llamadas señales piloto y los Parámetros de señalización de transmisión TPS, que son insertados dentro del cuadro OFDM.

Estas señales sirven de referencia y se incluyen en el tiempo y en frecuencia dentro de la señal OFDM y poseen fase y amplitud conocidas. Son moduladas con una amplitud mayor que las portadoras de datos, las cuales están normalizadas.

Figura 48 Marcas de sincronización DVB-T



Fuente: Gerard FARIA, Director of Research ITIS, France. COFDM: An opportunity to operate Differently Broadcast networks? Pág. 3

Las señales pilotos están divididas en dos, pilotos de continuidad y pilotos dispersos.

4.2.3.1.1. Pilotos de continuidad

Cada piloto de continuidad coincide con un piloto disperso cada cuarto símbolo; el número de portadoras para datos es constante de símbolo a símbolo: 1512 portadora utilizables en el modo 2K y 6048 portadoras útiles en el modo 8K.

Los pilotos de continuidad se encuentran siempre en el mismo lugar en el símbolo OFDM. Utiliza 45 portadoras en el modo 2K y 177 portadoras en el modo 8K. Se transmiten en un nivel de potencia incrementado, se utiliza para estima las características del canal y con eso realizar correcciones.

4.2.3.1.2. Pilotos dispersos

Se localizan en un patrón predefinido pero en igual número de por símbolo. Utiliza 131 portadoras en el modo 2K, 524 portadoras en el modo 8k. Se transmite en niveles de potencia crecientes; utilizado en conjunto con los pilotos de continuidad permiten estimar distorsiones en el canal. La posición de los pilotos es derivada de una PRBS (pseudo Random Binary Sequence). El cual es una serie de valor, una para cada portadora transmitida.

Los pilotos pueden ser usados para la sincronización de cuadros, sincronización de frecuencia, tiempo, estimación del canal, identificación del modo de transmisión y pueden también ser usadas para seguir la fase del ruido.

Los pilotos dispersos que están distribuidos periódicamente en el tiempo y en frecuencia a través de los símbolos OFDM. Los pilotos de continuidad se usan para sincronización y estimación del error de fase mientras que los pilotos dispersos permite la evaluación de las características del canal por interpolación en tiempo y frecuencia: Es decir que las variaciones debidas a ecos provocadas por ecos fijos o móviles pueden tenerse en cuenta así como otros problemas tales como interferencia.

4.2.3.1.3. Parámetros de señalización de transmisión (TPS)

La otra señal se que se agrega al cuadro OFDM son los parámetros de señalización de transmisión. Esta señal lleva información sobre el valor utilizado para la constelación QAM utilizada, información de jerarquía, el intervalo de guarda, el modo de transmisión, el número de cuadros en un super cuadro, la identificación de celdas.

La señal TPS es transportada por un número de portadoras esparcidas, moduladas en BPSK sobre todo el símbolo OFDM. Un símbolo OFDM lleva un bit de la señal TPS, mientras que el total de la señal TPS es transmitida sobre 68 símbolos OFDM cuando se usa el modo 8K y sobre 17 símbolos OFDM cuando se utiliza el modo 2K.

Esta señal se transporta por un número de portadoras esparcidas, las cuales son moduladas en BPSK sobre todo el símbolo OFDM. Un símbolo OFDM lleva un bit de la señal TPS, mientras que el total de la señal TPS es transmitida sobre 68 símbolos OFDM.

De aquí que la información de la OFDM está estructurada en cuadros; cada cuadro tiene una duración de T_f y consiste en 68 símbolos OFDM, Cuatro cuadros constituye un supercuadro. El periodo del símbolo TS contiene una parte útil para datos T_u y un intervalo de guarda.

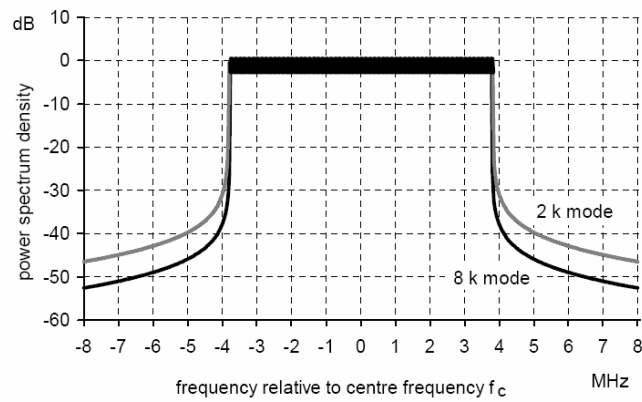
4.2.3.1.4. Intervalo de guarda

La principal utilidad del intervalo de guarda es brindar inmunidad al efecto multicaminos que sufren las transmisiones por radiofrecuencias, agregando este intervalo de guarda se inserta un espacio de tiempo en la señal entre dos símbolos consecutivos y cuyo valor lo define el estándar DVB como $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{32}$ de la duración del símbolo.

La propiedad de ortogonalidad que poseen las portadoras en COFDM se pierde durante este intervalo, sin embargo se mantiene durante el periodo del símbolo. La baja velocidad de transmisión de datos por portadora permite que pueda colocarse este intervalo de guarda, si se agregan más portadoras la velocidad de transmisión por portadora podría reducirse y el intervalo por símbolo sería mayor.

La forma final del espectro de la señal DVB modulada con COFDM se muestra en la siguiente gráfica para un canal de 8 MHz y es semejante a la que mostraría un canal de 6 MHz.

Figura 49 Espectro de la señal teórica de un canal DVB de 8 Mhz. con intervalo de guarda $T_U/4$



Fuente: Fuente: **Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television** Doc. ETSI EN 300 744 V1.4.1 2001 Pág. 35

Esta señal se modula a una frecuencia intermedia, luego se da un proceso de corrimiento de frecuencia a la frecuencia asignada a la estación de televisión para la emisión de su señal. Esta señal es amplificada para tener la potencia necesaria para la transmisión. Sin embargo en el proceso una parte de la señal se sale del ancho de banda asignado al canal, esto provocaría interferencia en los canales adyacentes, por ello es filtrada para evitar dicha interferencia. Luego de esta señal, el último eslabón de la cadena de transmisión es la antena que finalmente es la que envía la señal al aire.

4.2.4. ETSI

Sus siglas significan Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) este es el organismo encargado de la elaboración de las normas de telecomunicación para facilitar su estandarización en Europa, y es parte de los organismo que promueven el mercado único europeo.

En el ETSI participan como miembros no sólo las administraciones, sino también los operadores de red, la industria, los centros de investigación y los usuarios de los servicios de telecomunicación.

El objetivo del ETSI es la elaboración, mantenimiento y actualización de prenormas y de normas técnicas a nivel europeo para varios campos de telecomunicaciones los cuales son:

- a) Telecomunicaciones
- b) Áreas comunes existentes entre las telecomunicaciones y las tecnologías de la información
- c) Áreas comunes existentes entre las telecomunicaciones y los sistemas de radiodifusión y televisión

Los miembros del ETSI son: Administraciones nacionales, operadores de redes públicas, fabricantes, organizaciones de usuarios y organismos de investigación. La participación puede ser a título individual o formando parte de grupos. Asimismo, el ETSI admite miembros observadores con ciertas limitaciones en sus derechos.

4.3. ISDB

Siguiendo con el modelo ITU-R para la transmisión de un canal de televisión digital terrestre utilizado en el ATSC, se realizará la siguiente descripción del sistema ISDB.

Para el subsistema de video en el sistema ISDB se utiliza la sintaxis de flujo de video MPEG-2 para la codificación y compresión de video. Los formatos permitidos para el ISDB se detallan en el capítulo 3 de este documento. En el subsistema de audio el ISDB utiliza el estándar ACC. Para la capa de transporte y multiplexación se utiliza el flujo de transporte MPEG-2.

En la etapa de sistema de transmisión de RF se utiliza la Modulación por división de frecuencia ortogonal codificada.

4.3.1. Advanced Audio Coding ACC

Para el subsistema de audio en ISDB se utiliza la última modificación de los estándares para codificación de audio llamado ACC utilizado en MPEG-2, el cual es un sistema multicanal.

Este estándar de audio no es compatible con los estándares de MPEG-1, ni con el estándar MPEG-2 BC. Formalmente, el ACC es el estándar ISO/IEC-13818-7, es un estándar de codificación de audio de alta calidad, el cual tiene las siguientes características: permite desde 1 a 48 canales con rangos de muestreo de 8 a 96 Khz., es un sistema multicanal, multilenguaje y con capacidad para multiprograma. AAC trabaja en tasas de bit de 8kbits/s/canal para una codificación que permite múltiples ciclos de codificación/decodificación. Utiliza tres perfiles de AAC para poder manejar distintos de complejidad y escalabilidad. Al comparar con los bien conocidos métodos de codificación como MPEG-2 capa 2, en este es posible acortar la tasa de datos requerida por un factor sin pérdidas de calidad.

El MPEG-2 ACC utiliza la técnica de enmascaramiento de la señal para reducir la cantidad de datos necesario para reproducir los sonidos captados por el oído humano. De esta forma el ruido de cuantización es distribuido en bandas de frecuencia de tal manera que este es enmascarado por la señal total, y entonces, llega a ser inaudible.

En la estructura básica de este método de codificación existen grandes diferencia de sus predecesores, la diferencia con su predecesor ISO/MPEG Audio capa 3 son mostrados a continuación:

- **Banco de filtros:** en contraste al banco de filtros híbridos de la capa 3 ISO/MPEG escogido por razones de compatibilidad pero desplegando ciertas debilidades, MPEG-2 ACC usa una Transformada Modificada de Discreta de Cosenos

- Se agregó un incremento de la longitud de las ventanas (1024 en lugar de 576 líneas espectrales por transformación) el MDCT supera el diseño de los bancos de filtros de los métodos de compresión previos.
- **Modelado Temporal de Ruido (TNS):** Propone modelar la distribución de el ruido de cuantización en el tiempo por predicción en el dominio de la frecuencia, en especial las señales de voz experimentan considerables mejoras a través de TNS, lo cual es una innovación en el campo de la codificación de audio.
- **Predicción:** Se utiliza la predicción, esta técnica se utiliza para la codificación de lenguaje. Se aprovecha el hecho de que ciertos tipos de señales de audio son fáciles de predecir.
- **Cuantización:** Para permitiría un control mas fino de la resolución de cuantización, el bit rate dado puede ser usado mas eficientemente.
- **Formato del flujo de bits:** la información a ser transmitida bajo un código de entropía para guardad la redundancia lo más bajo como sea posible. La optimización de este método de codificación junto con una estructura de flujo de bits flexible ha hecho mejoras más allá de la eficiencia de la codificación.

4.3.2. Modulación OFDM por segmentos

En el sistema de modulación utilizado para ISDB sigue en resumen el siguiente proceso. La entrada al subsistema de codificación de canal y modulación es un flujo de transporte MPEG-2. Este es remultiplexado y arreglado en grupos de datos, llamados segmentos de datos, esto se realiza antes de hacer el cuadro OFDM. Después de la codificación del canal, segmentos de datos son formados en segmentos OFDM, cada uno teniendo un ancho de banda de $B_o/14$ Mhz, donde B_o puede tomar los siguientes valores: 6,7, u 8 Mhz, y luego son agregados los pilotos.

En el sistema de modulación ISDB se permiten tres modos de transmisión llamados Modo1, Modo2 y Modo 3. La diferencia principal es la cantidad de portadoras que contiene cada modo.

Para el modo 1 se permite un total de $108*N_s+1$ portadoras, para el modo 2 son $216*N_s +1$, para el modo 3 $432*N_s+1$ portadoras. Donde N_s representa la cantidad de segmentos a ser utilizados

4.3.3. Transmisión jerárquica

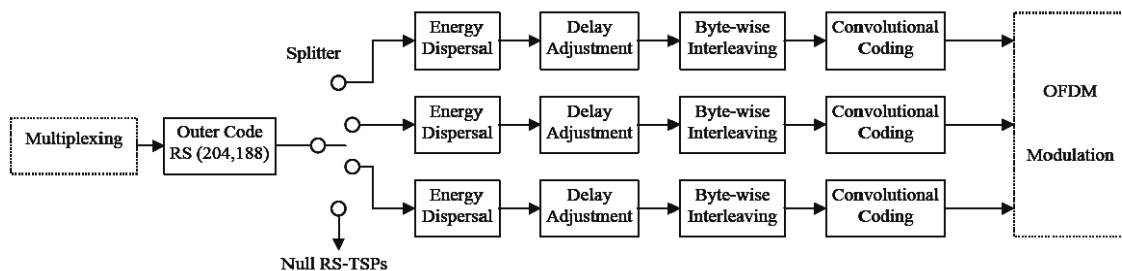
Para la norma ISDB los parámetros del esquema de modulación de las portadoras OFDM, la tasa de codificación de codificador interno, y el largo del tiempo de intercalado puede ser independientemente aplicado para cada segmento de datos.

La transmisión jerárquica se logra a través de la transmisión de grupos de segmentos OFDM, teniendo diferentes parámetros de transmisión en un canal. Se permite un número máximo de tres capas (tres diferentes grupos de segmentos) que pueden ser transmitidos en un canal al mismo tiempo.

4.3.4. Codificación del canal

El proceso de codificación del canal pasa por varias estaciones de codificación con el fin de proporcionar a los datos la mayor robustez y de esta forma obtener un sistema con un alto rechazo a la interferencia. También persigue agregar códigos que permitirán recuperar la información cuando se algún error en la transmisión

Figura 50 Diagrama de bloques codificación y modulación de un canal ISDB



Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation**. Pág. 15

4.3.4.1. Multiplexión

Puede multiplexarse información y utilizar transmisión jerárquica. En ISDB un solo flujo de transporte MPEG-2 es transmitido en un canal de transmisión de ancho de banda de $N_s \cdot B_o / 14$ Mhz, de donde N_s indica el número de segmentos usado en el sistema.

No importar si una transmisión jerárquica esta en operación o no. Debido a esto, la división y síntesis del flujo de transmisión (TS) es necesario y este proceso es llevado a cabo en lado del transmisor y el relector.

Para lograr la transmisión jerárquica en ISDB se utiliza el esquema de Transmisión de banda segmentada OFDM, se define un cuadro de multiplexión de Flujo de transporte dentro del estándar MPEG-2.

4.3.4.2. Codificador externo

Es un codificador reed-solomon que se aplica a da MPEG-2, para generar una protección de errores en la paquete de flujo de transporte (TSP). Con esta codificación pueden corregirse hasta 8 bits conteniendo errores de una palabra 204 bytes que llega al receptor.

Esta etapa es en la que se agrega los bytes de paridad.

Esto permite formar el cuadro de multiplexión, el cual consiste de un flujo continuo de 204 bytes que incluyen los bytes que contienen paquete de flujo de transporte MPEG-2 (TSP), datos nulos de 16 bytes o bytes de paridad reed-solomon.

Dicho de otra forma, a esta etapa ingresan 188 bytes pertenecientes al flujo de transporte MPEG-2 y genera una salida que contiene un byte de sincronización, un área de carga de datos de MPEG-2 y los bytes de paridad reed-solomon como muestra la figura siguiente.

Figura 51 Paquete de transporte y de transmisión de datos utilizando MPEG-2

Sync. 1 byte	MPEG-2 transport MUX data 187 bytes
-----------------	--

(a) MPEG-2 Transport Stream Packet (TSP)

Sync. 1 byte	MPEG-2 transport MUX data 187 bytes	16 Parity bytes
-----------------	--	-----------------

(b) Transmission TSP, RS(204,188) Error Protected TSP

Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation** Pág. 16

4.3.4.3. Dispersión de energía

Para mantener una adecuada transición binaria, los datos de el repartidor (splitter) es aleatorizado con una polinomio de secuencia binaria pseudoalatoria.

El generador de dicho polinomio para este estándar es el siguiente:

$$g(x) = x^{15} + x^{14} + 1$$

4.3.4.4. Ajuste de retardo

Se realiza un ajuste de retardo debido a que existen diferencias entre el flujo y flujo de diferentes capas dependiendo de sus propiedades; por ejemplo, la modulación utilizada y la codificación de canal.

Para compensar este retardo incluyendo el generado por el proceso de desintercalación en el receptor, el ajuste de retardo es llevado antes que el intercalado de bytes en el lado del transmisor. La cantidad de retardo a ser ajustado es definido en términos de el número de TSPs par cada capa de flujo.

4.3.4.5. Intercalado de bytes

Este es un intercalado convolucional de bytes, con una longitud de $L=12$ aplicado a los 204 bytes del flujo formado después del codificador externo.

El intercalador puede estar compuesto de $L=12$ banco, cíclicamente conectados a la entrada del flujo de bytes provenientes del *switch* de entrada. Cada banco j será un registro de campo del tipo primero en entrar-primero en salir, o FIFO por sus siglas en inglés. Cada uno con una longitud de $j*17$ bytes.

Figura 52 Intercalador utilizado en ISDB

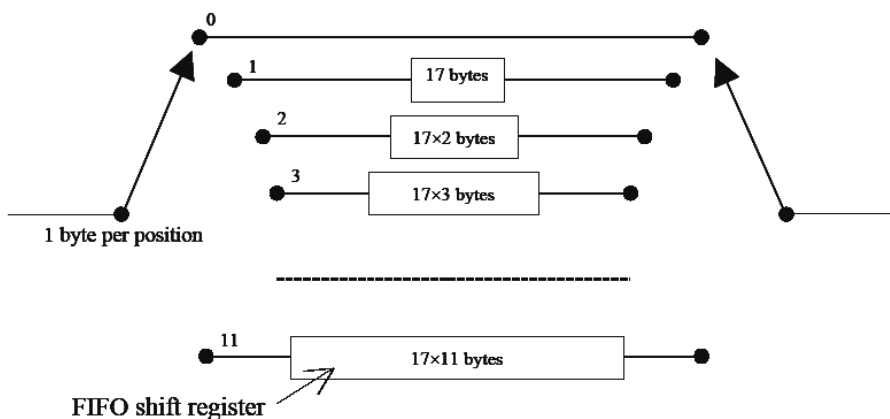


Diagrama Conceptual de el Intercalador Externo

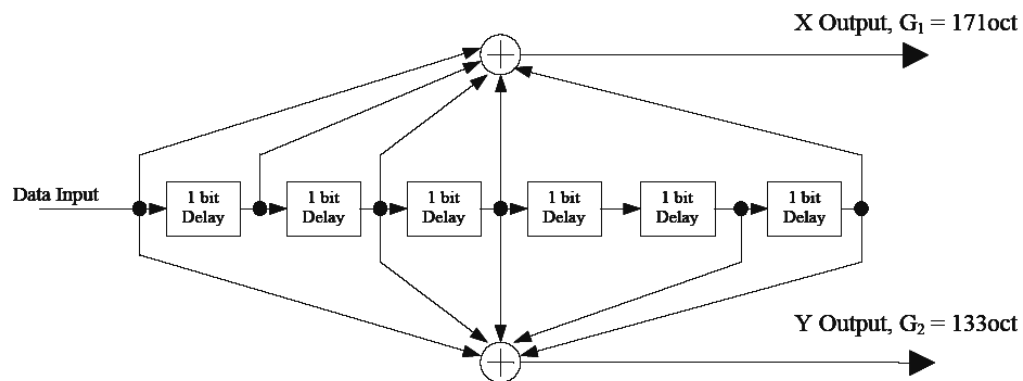
Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation** Pág. 20

4.3.4.6. Codificación convolucional

El sistema permite un rango de códigos convolucionales perforados, basados en un código convolucional madre con una tasa de $\frac{1}{2}$ con 64 estados.

Esto permite seleccionar el modo mas apropiado de corrección de errores para un servicio dado o tasa de datos en sistema de transmisión ISDB incluyendo los servicios móviles.

Figura 53 Diagrama de generación de código convolucional utilizado en ISDB



Código Madre Convolucional de tasa 1/2 (longitud= 7)

Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation** Pag 21

Posee una tasa de codificación de $\frac{1}{2}$ debido a que entra una señal en serie y su salida del codificador es una señal en paralelo de dos bits. Los números $G_1=171$ oct y $G_2= 133$ oct indican que bits de la cadena de 7 bytes se toman para realizar el proceso y formar la señal X y la señal Y.

Los patrones de perforación y la secuencia de transmisión de este código permitidas en ISDB se muestran en la siguiente tabla.

Tabla XIII Patrón de perforación y secuencia de transmisión

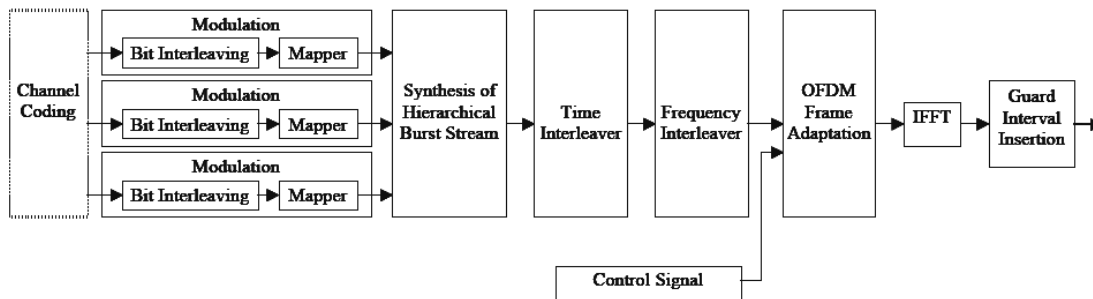
Code Rates	Puncturing Pattern	Transmitted Sequence
1/2	X : 1 Y : 1	X ₁ , Y ₁
2/3	X : 1 0 Y : 1 1	X ₁ , Y ₁ , Y ₂
3/4	X : 1 0 1 Y : 1 1 0	X ₁ , Y ₁ , Y ₂ , X ₃
5/6	X : 1 0 1 0 1 Y : 1 1 0 1 0	X ₁ , Y ₁ , Y ₂ , X ₃ , Y ₄ , X ₅
7/8	X : 1 0 0 0 1 0 1 Y : 1 1 1 1 0 1 0	X ₁ , Y ₁ , Y ₂ , Y ₃ , Y ₄ , X ₅ , Y ₆ , X ₇

Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation** Pag 21

4.3.4.7. Modulación OFDM

La modulación en ISDB se realiza según el siguiente diagrama de bloques:

Figura 54 Diagrama de bloques de modulación en DVB

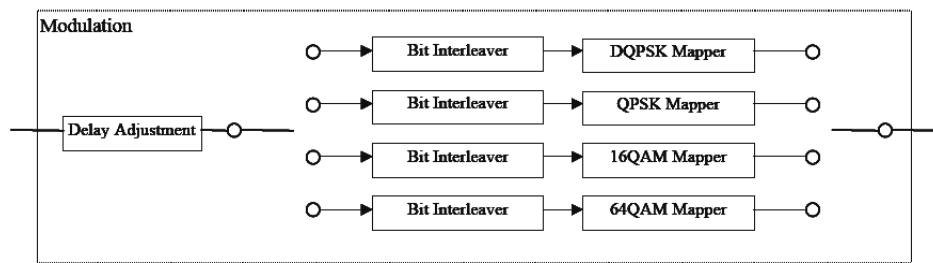


Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation** Pág. 22

4.3.4.7.1. Intercalador de bits y mapeo de datos

El primer paso es retardo de 120 datos complejos. El retardo total en el transmisor y receptor es ajustado a la cantidad de dos símbolos OFDM. Seguido de esta, se da el otro proceso de intercalado de bits y el mapeo de la interpolación. En ISDB se permite la utilización del os esquemas de modulación DQPSK, QPSK, 16QAM, y 64QAM. Como se muestra a continuación

Figura 55 Diagrama de bloques de la modulación.

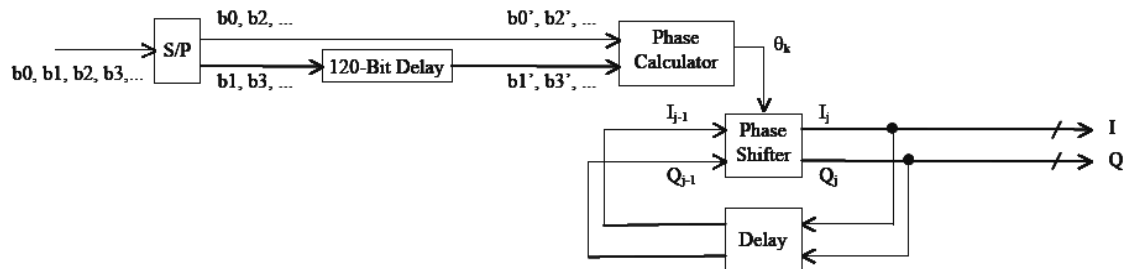


Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation** Pág. 22

4.3.4.7.2. DQPSK

Cuando se utiliza el esquema de modulación digital DQPSK, la secuencia serial de la salida del codificador interno es convertida en una secuencia paralela que sufre un cambio de fase de $\pi/4$ y el mapeo DQPSK. Después de la conversión serie paralelo, se realiza un intercalado de bits, se insertan 15 retardos de bytes en la segunda salida de el convertidor Serie Paralelo.

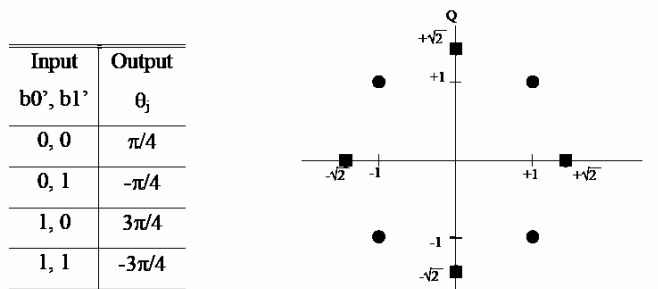
Figura 56 Modulación DQPSK con cambio de fase $\pi/4$



Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation** Pág. 23

Para esta modulación se realiza un cambio de fase de los valores representados y básicamente se gira la constelación tomando la forma que a continuación se presenta:

Figura 57 Cálculo de fase y mapa de modulación DQPSK con cambio de fase.

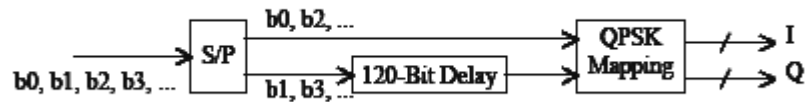


Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation** Pág.24

4.3.4.7.3. QPSK

La secuencia seria de bits que salen del codificador interno es convertida en un secuencia paralela de dos bits para luego formar un mapa QPSK. Luego de la conversión serie paralelo a la segunda salida pasa por una etapa de retardo de 120 bits antes de la etapa de mapeo QPSK.

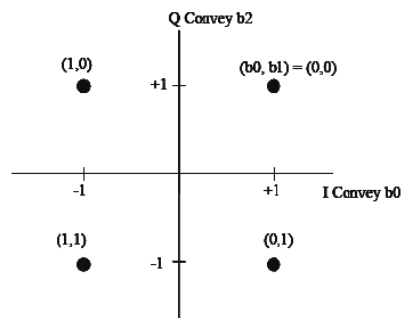
Figura 58 Modulación QPSK en ISDB



Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation** Pág.24

Luego de la etapa de mapeo se forma la constelación QPSK como muestra la gráfica.

Figura 59 Patrón de bits y mapeo QPSK

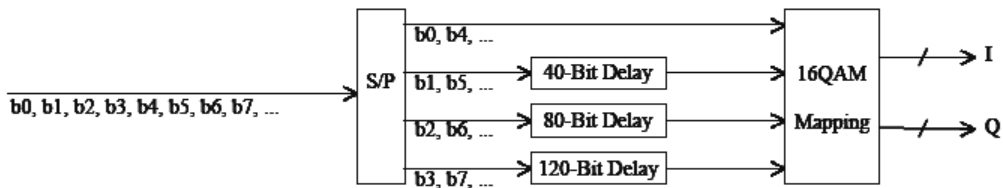


Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation** Pág.25

4.3.4.7.4. 16QAM

La secuencia serial de la salida del codificador interno es convertida en una secuencia paralela de 4 bits. Después de la conversión serie paralelo, se insertan en las últimas tres salidas un retardo como se muestra en el diagrama.

Figura 60 Modulación 16-QAM en ISDB

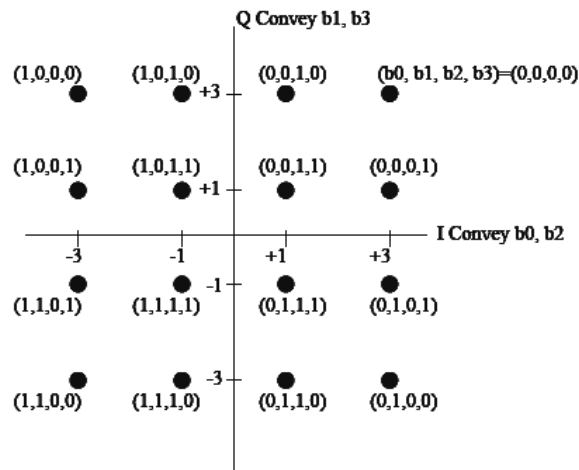


Modulación 16-QAM

Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation** Pág.25

Luego se forma la constelación como muestra la figura siguiente:

Figura 61 Patrón de bits y mapa de la modulación 16 QAM para ISDB



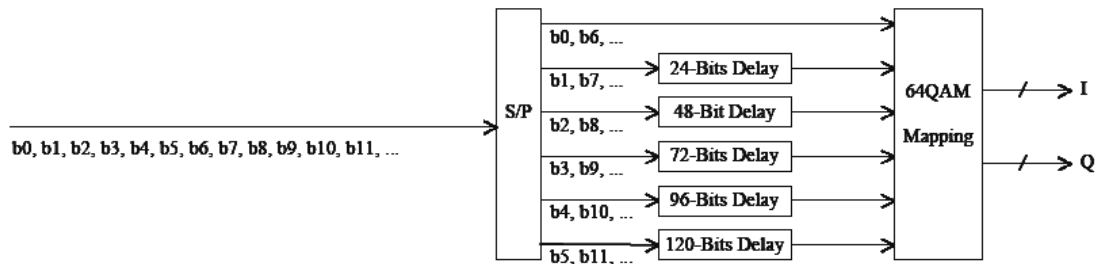
Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation** Pág.25

4.3.4.7.5. Modulación 64-QAM

Para esta modulación al igual que las anteriores la primera etapa es la conversión serie paralelo. En esta la secuencia en paralelo esta formada por 6 bits.

Luego, las últimas cinco salidas sufren un proceso de retraso cada una con diferente tiempo de retardo como lo muestra la figura.

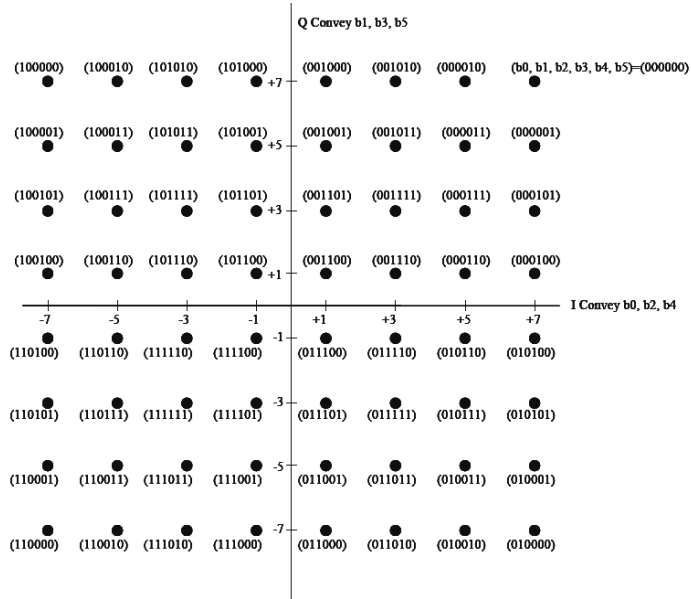
Figura 62 Modulación 64 QAM para ISDB



Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation** Pág.26

La constelación resultante de este proceso así como el patrón del valor binario de cada símbolo se representa en la siguiente figura.

Figura 63 Mapeo modulación 64 QAM



Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation** Pág.26

Estos son los esquemas de modulación que son permitidos en ISDB, como se menciona se aplican de acuerdo a los segmentos a los que se les asigne cada tipo de modulación.

Para mantener una potencia promedio constante sin importar el tipo de modulación, se utilizan un factor de normalización que es aplicado a cada constelación dependiendo de su tipo.

El factor a utilizar se muestra en la siguiente tabla.

Tabla XIV Factores de normalización para símbolos de datos

Carrier Modulation	Normalization Factor
$\pi/4$ Shift DQPSK	$Z/\sqrt{2}$
QPSK	$Z/\sqrt{2}$
16QAM	$Z/\sqrt{10}$
64QAM	$Z/\sqrt{42}$

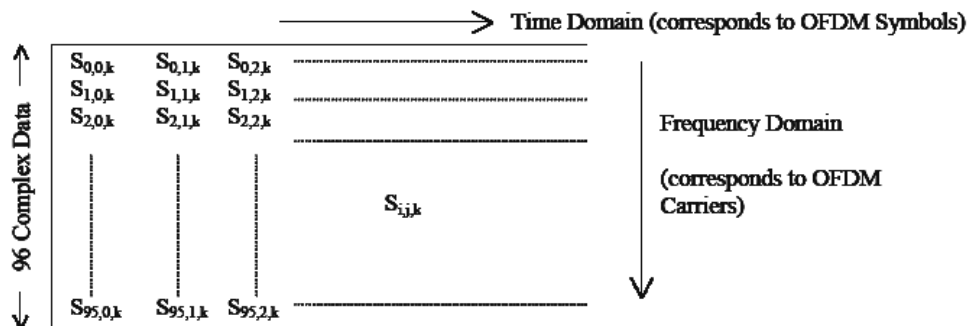
Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), Specification of channel coding, Framing structure and modulation Pág.27

En la tabla 14 Z representa un símbolo complejo en cualquiera de las constelaciones permitidas.

4.3.4.7.5.1. Segmentos de datos

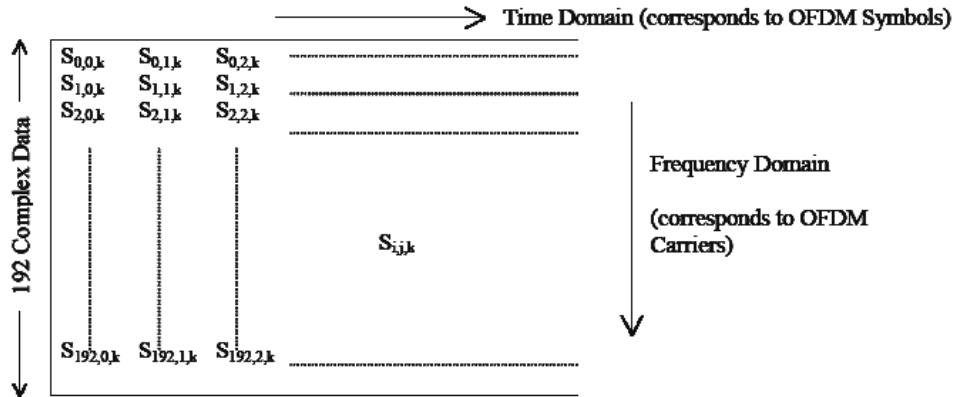
Los segmentos de datos son definidos según una tabla de direcciones para datos complejos, en un el cual una tasa de conversión, intercalado en el tiempo e intercalado de frecuencia será ejecutada. El segmento de datos corresponde a la porción de datos de segmentos OFDM

Figura 64 Estructura de datos del Modo 1,2 y 3 de ISDB

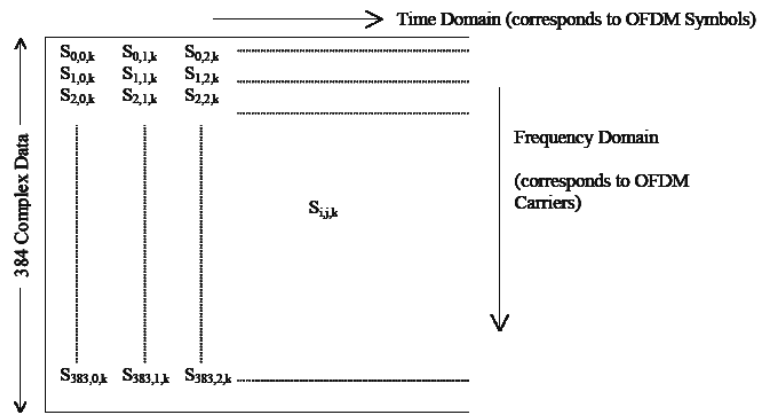


Estructura de Segmento de Datos para Modo 1

Continuación figura 64



Estructura de Segmento de Datos para Modo 2



Estructura de Segmentos de Datos para Modo 3

Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation** Pág.27-28

4.3.4.7.5.2. Síntesis capa de flujo de datos

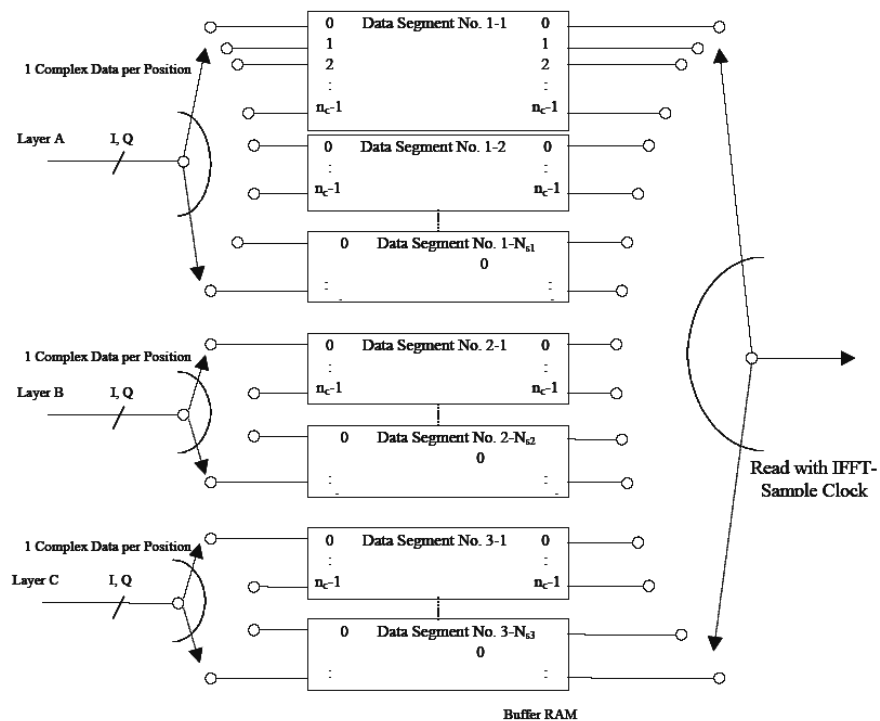
Después de ser codificado y mapeado, cada dato complejo de cada capa es ingresado a un segmento de datos preasignado. La asignación de trece segmentos es de la siguiente manera:

- Un segmento es asignado para una capa de recepción parcial si la capa es utilizada.

- Un parte de los segmentos son asignados para una capa de modulación diferencial.
- Los segmentos restantes son asignados para una capa de modulación coherente.

Cada capa es designada como Capa A, Capa B o Capa C.

Figura 65. Síntesis de las capas de flujo de datos



Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation** Pág.29

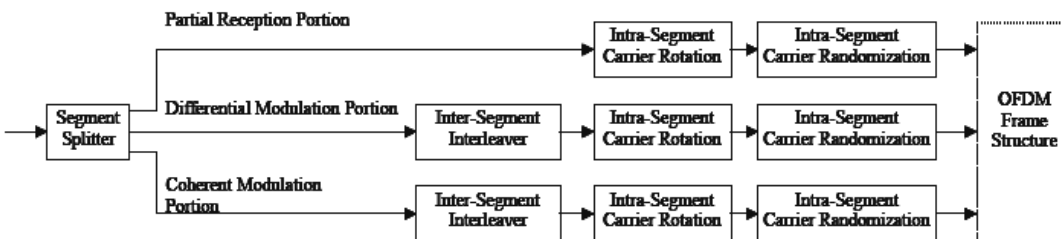
En la figura anterior $n_c = 96$ Modo1, 192 en Modo 2, 384 en Modo 3

N_s representa el número total de segmentos, es decir el número total de segmentos utilizados por las tres capas. El valor máximo que puede tomar N_s es 13. De esta forma: $N_s = N_{s1} + N_{s2} + N_{s3}$

En la formación de los segmentos de datos se realiza un intercalado en el tiempo, ya que cada símbolo es colocado en una entrada distinta dentro del segmento que le corresponde. El intercalado se realiza internamente por medio de un búfer asignado a cada entrada de segmento. Luego se realiza un intercalado en el dominio de la frecuencia. Este intercalado se lleva a cabo en los segmentos que tienen el mismo esquema de modulación

Este proceso lleva varios pasos que son mostrados en el siguiente diagrama.

Figura 66 Configuración del intercalador de frecuencia



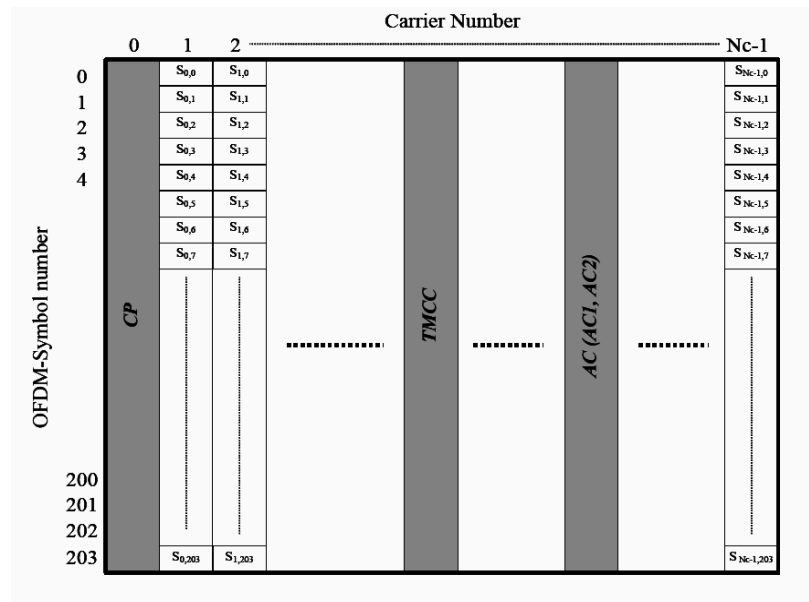
Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation** Pág.29

Como puede observarse en el diagrama superior primero se realiza un intercalado de frecuencia intersegmento. Este no es aplicado a la modulación de recepción parcial. Luego pasa por un proceso de rotación de portadoras y por último se realiza un proceso de aleatorización de portadoras.

4.3.4.8. Cuadro OFDM

Debido a la estructura de la modulación bajo el estándar ISDB existen tres cuadro OFDM uno para cada capa. Básicamente los cuadros OFDM se forman insertando a los segmentos de datos las respectivas señales piloto. El cuadro de los segmentos par Modulación diferencia se presenta a continuación.

Figura 67. Diagrama del cuadro OFDM para la Modulación Diferencial

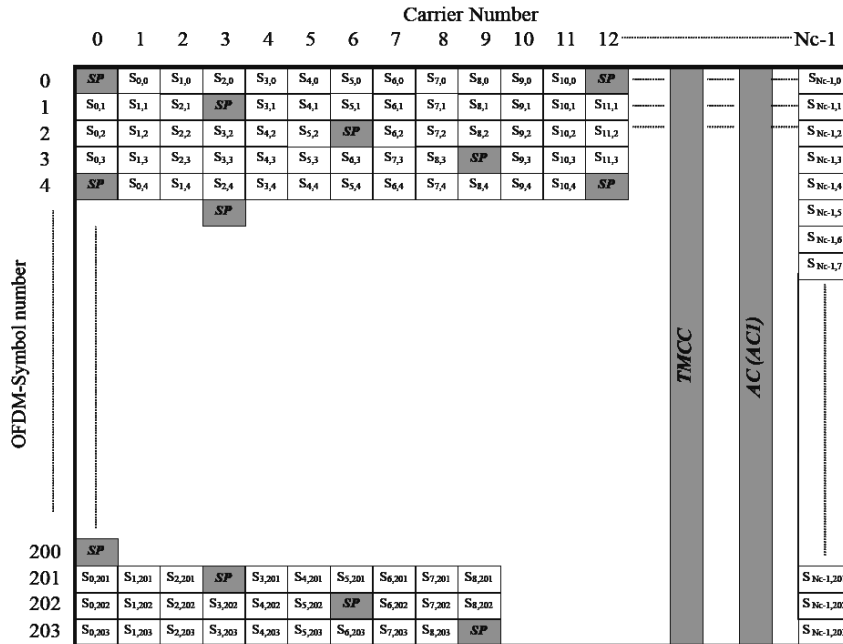


Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation** Pág.36

De este diagrama del cuadro S_{ij} representan los datos complejos en un segmento de datos después del intercalado en el tiempo y la frecuencia.

CP significa el Piloto de Continuidad, TMCC La señal de control de la configuración de transmisión y multiplexión, AC es un canal auxiliar, estas portadoras llevan información auxiliar. El cuadro de los segmentos para una Modulación coherente se presenta diferencia marcadas como se apreciará en el siguiente cuadro, está cuadro esta hecho usando Modo 1.

Figura 68 Cuadro OFDM para modulación coherente



Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation** Pág.39

De este diagrama del cuadro S_{ij} representan los datos complejos en un segmento de datos después del intercalado en el tiempo y la frecuencia

SP significa Piloto de Dispersa esta es insertada cada 12 portadoras y en cada 4 símbolos OFDM. Los cuatro tipos de señales piloto son modulados en DBPSK y llevan la información dedicada a cada piloto.

4.3.4.9. Piloto dispersos.

Los pilotos dispersos están modulados de acuerdo a una secuencia pseudoaleatoria. Esta secuencia indica el índice de la portadora que llevará este piloto y la amplitud de dicha portadora es mayor que la amplitud de una portadora que sea parte de un segmento de datos.

Los pilotos continuos son modulados de igual forma que los pilotos dispersos. La modulación de fase del piloto continuo es constante en todos los símbolos, y su valor es determinado por el valor resultante de la secuencia pseudoaleatoria.

Un piloto continuo CP es agregado en el borde más alto de el espectro de transmisión.

4.3.4.10. TMCC

El bit de referencia para la modulación diferencial es el primer bit de los datos TMCC. El valor de este piloto también es determinado por la secuencia pseudoaleatoria.

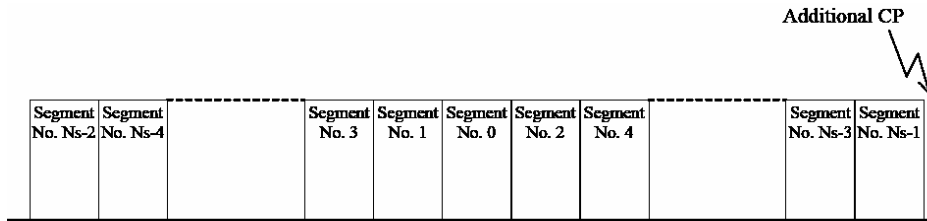
4.3.4.11. Canal de datos auxiliares (AC)

El esquema de modulación para AC es el mismo que para TMCC. En el caso de no utilizarse el canal de datos auxiliares se colocan en los bits de relleno. Con esta opción se permite enviar más información si llega a ser necesario, puede o no utilizarse.

4.3.5. Espectro de transmisión

Los trece segmentos son numerados de acuerdo a la siguiente figura. Los segmentos de modulación diferencial y los segmentos de modulación coherente están posicionados desde el segmento interior a los segmentos más externos según el número de segmento.

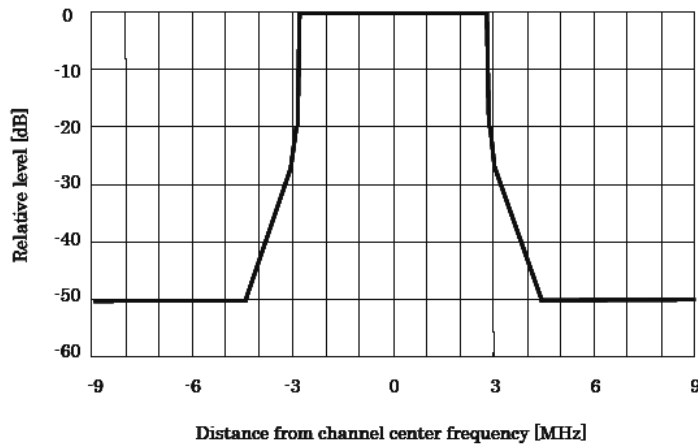
Figura 69 Diagrama del espectro de un canal ISDB



Número de segmento y ejemplo de posición de segmento en el espectro de transmisión

Fuente: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation** Pág.25

Figura 70 Forma de del espectro de una canal ISDB



Fuente: **Transmission system for digital terrestrial television broadcasting ARIB Standard** pág. 64

4.3.6. Formato de la señal de radiofrecuencia

La señal emitida es descrita por la siguiente expresión matemática.

$$s(t) = \text{Re} \left\{ e^{j2\pi f_c t} \sum_{k=0}^{K-1} C(n,k) \psi(n,k,t) \right\}$$

donde,

$$\psi(n, k, t) = \begin{cases} e^{j2\pi \frac{k-K_c}{T_u}(t-T_g-nTs)} & nTs \leq t < (n+1)Ts \\ 0 & t < nTs, (n+1)Ts \leq t \end{cases}$$

donde

k es el índice numerado desde la Cero portadora a la onceava

n es el número de símbolo OFDM

K es el número de portadoras transmitidas (1405 en el Modo 1, 2809 en el Modo 2 y 5617 en el modo3)

Ts es ella duración de símbolo (= Tg + Tu)

Tg es la duración del intervalo de guarda

Tu es la duración efectiva del símbolo

f_c es la frecuencia central de la señal RF

K_c es el índice de la frecuencia central de la señal RF

C(n.k) es el dato complejo de el n-avo símbolo OFDM llevado por la k-ésima portadora

4.3.7. ARIB

La *Association of Radio Industries and Businesses* (ARIB) fue creada por el Ministerio de correo y Telecomunicaciones de Japón (*Minister of Posts and Telecommunications*) como una corporación de servicio público.

Es la encargada de investigación y desarrollo de tecnologías para radio y del desarrollo de estándares para la tecnología referente a la radio y a las transmisiones. Dentro de sus funciones se encuentra la administración

Los objetivos de ARIB son conducir la investigación, búsqueda y desarrollo y utilización de las ondas de radio desde para el desarrollo de la industria de radio, y para promover la realización y popularización de nuevos sistemas de radio en el campo de las telecomunicaciones y transmisiones.

4.4. Comparación entre los tres sistemas

Después de haber realizado una descripción de los tres sistemas de televisión digital existentes, es notorio que solamente son dos puntos los que diferencian a los sistemas de televisión digital. El primero es la codificación de audio que utiliza cada norma y el segundo es el método de transmisión que emplean.

Con el siguiente cuadro comparativo de las tres normas puede notarse estas diferencia. Este cuadro incluye información sobre las herramientas utilizadas, principalmente para la transmisión.

De esta información podemos notar el gran parecido de la modulación COFDM utilizada por la norma europea DVB y la modulación OFDM-segmentada que utiliza la norma japonesa ISDB.

Tabla XV Cuadro comparativo de los sistemas de televisión digital.

Característica	ATSC	DVB	ISDB
Esquema de Modulación	8VSB	QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 16-QAM no uniforme 16-QAM o 64-QAM no uniforme 64-QAM	QPSK/16QAM/64QAM/DQPSK
Tasa de Transmisión por symbol	10.76 Msimbolos/s	5.53 Msimbolos/s	12.506 Msimbolos/s
Codificación de Video	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2
Codificación de Audio	AC-3	MPEG-2 Layer I, Layer II	MPEG-2 AAC
FEC(Código Externo)	Reed-Solomon(204,188)	Reed-Solomon(204,188)	Reed-Solomon(204,188)
FEC(Código Interno)	Trellis Coding Convolutional	Convolutional	Convolutional
Tasa de codificación interna	1/2	1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8.	1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8.
Capa de Transporte	MPEG-2 systems	MPEG-2 systems	MPEG-2 systems
Tamaño del Paquete	188 bytes	188 bytes	188 bytes
Sistema de Transmisión	8 VSB	COFDM	COFDM segmentado
Velocidad de Datos	19.39 Mbps	23.751 Mbps	23.23 Mbps

Fuente: **ATSC Standard: Digital Television Standard, Revision B with Amendments 1 and 2. Doc A/53B**; Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), **Specification of channel coding, Framing structure and modulation**; Fuente: Digital Video Broadcasting (DVB); **Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television** ETSI EN 300 744 V1.4.1 (2001-01)

Otro dato importante que sobre sale es el hecho de que cada uno posee una capacidad máxima de transmisión de símbolos diferente la menor es la del estándar europeo y la mayor tasa de transferencia de símbolos es de la norma japonesa sin embargo, si se analiza la casilla de la tasa máxima de transferencia de datos el sistema estadounidense ATSC posee el menor valor (19.39 Mbps) y la tasa mas alta es la de el sistema europeo esta es de 23.751 Mbps.

Con esto puede concluirse que el sistema DVB tiene una mayor eficiencia en la transmisión de datos comparada con la de los otros dos sistemas. Sin embargo, la tasa del estándar japonés es levemente menor a la del sistema europeo.

4.5. Mejoras de la televisión digital con la televisión analógica

Existen varias características en las que se diferencia la televisión digital con la televisión análoga. Estas diferencias no son solamente la modulación de la señal para ser transmitida. En primer lugar la televisión digital presenta una considerable mejora en cuanto a resolución, al mismo tiempo permite la utilización de tipos de resolución, así también, permite la utilización de varios formatos de relación aspecto la que actualmente pueden tenerse si se reproduce un DVD en un alguno de los televisores análogos que están en uso.

El segundo punto es una considerable mejora en la calidad de sonido ya que la propuesta inferior de audio alcanza una calidad de disco de audio, y otras opciones permiten la utilización de sistemas de 5.1 canales con lo cual se tienen un gran realismo en el sonido.

Permite el envío de datos extras, en estos espacios puede ampliarse la variedad de servicios que puede ofrecer un canal de televisión a su público televidente. Además, en el proceso de adecuación de los datos de audio, video y datos auxiliares se incluyen codificaciones extras las cuales permiten que el sistema de transmisión y recepción sea más robusto e inmune al ruido y a los efectos de las señales multicaminos.

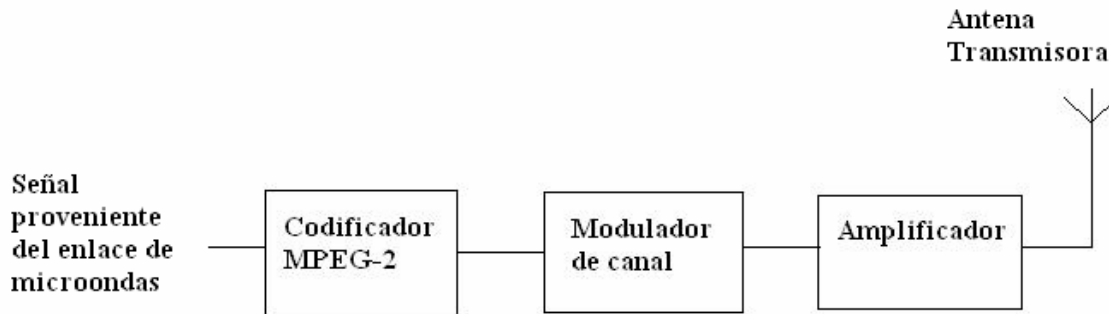
5. EQUIPO PARA LA DIGITALIZACIÓN DE LAS TRANSMISIONES DE TELEVISIÓN

Dadas las actuales condiciones de equipamiento de los canales nacionales básicamente los canales de UHF en su mayoría son los que se encuentran técnicamente con un menor grado de tecnificación en los aparatos que utilizan para la producción y transmisión de la señal generada a través de sus frecuencias.

En el caso de los canales de la banda de VHF poseen mejor equipo, incluso, actualmente ya utilizan sistemas digitales para transmitir la señal desde el estudios hasta las repetidoras y antenas de difusión, de las cuales emiten la señal bajo el estándar analógico NTSC que es el que rige las transmisiones de televisión en Guatemala. En este trabajo no se incluye el área de producción de televisión sino solamente el área de transmisión.

Se propone el siguiente diagrama para lograr inicialmente, transmitir digitalmente un canal de televisión, sin necesidad de cambiar el equipo de edición y de enlace desde el estudio hasta la torre de transmisión.

Figura 71 Diagrama propuesto para la transmisión de televisión digital sin modificar la producción de la estación.



Lo que tendrían que adicionar es un codificador de MPEG-2, un modulador que cumpla con la norma de televisión digital que se establezca para Guatemala, y un amplificador de potencia con un alto grado de linealidad al igual que una antena que sea suficientemente lineal en todo el ancho de banda del canal.

Por tal razón, a continuación se presenta el equipo necesario para realizar transmisiones digitales.

5.1 Codificador MPEG-2

Un codificador MPEG-2 es la primera parte del equipo propuesto. El codificador permite la conversión de nuestra señal analógica a un formato digital, el cual dependerá de la capacidad del codificador elegido para ser utilizado.

Otra de las funciones del codificador es permitir la adición del audio codificado con anterioridad; o también algunos tienen la capacidad de codificar el audio analógico que se introduzca para ser procesado en el codificador y luego, incluido en el flujo de transporte (TS) que se formará del video y el audio para su posterior transmisión. Se presentan varias propuestas de codificadores que pueden utilizarse para codificar en MPEG-2.

5.1.1 Codificador de Alta Definición Tandberg

El codificador E5821 es un codificador de alta definición. Permite codificar en ambos modos: definición estándar y alta definición. Es compatible con los sistemas ATSC y DVB-T. Está diseñado para operar por separado o como parte de un gran sistema, El E5821 proporciona alta calidad, flexibilidad de codificación de audio y video.

Características de las entradas.

Entrada opcional de video compuesta y por componentes PAL/NTSC.

Posee dos entradas digitales AES/EBU de audio o 4 canales estéreo de audio extraídos de SDI/HD HDI.

Dos entradas analógicas balanceadas de 600/20K ohmios

Velocidades de muestreo de 32kHz, 44.1kHz y 48 khz.

Características de salida.

Tres salidas DVB ASI de programa de flujo de transporte simple.

Dos salidas ASI ópticas y Tres salidas SMPTE 310 SSI opcionales.

Características estándar:

Soporta múltiples formatos DVB-T y ATSC

Estimación jerárquica de movimiento avanzada

Reductor de ruido

Entrada de close caption por entrada RS232 o SDI en modo de Alta definición

Codificador para dos canales en audio MPEG capa II y Dolby Digital

Características opcionales:

Entradas de datos de alta velocidad RS-232 y RS-422

Audio adicional (2 pares estéreo por modulo)

Salida QPSK modulada a 70MHz +/- 20 Mhz.

Operación VBR (velocidad de bit variable).

Codificador de video:

Genera una salida en los siguientes formatos

MPEG-2 4:2:2 P@ML 2 a 50Mbps (en modo SD)

MPEG-2 4:2:0 MP@ML 1.5 a 15Mbps

MPEG-2 4:2:0 MP@HL 2 a 50Mbps (480p y 576p)

MPEG-2 4:2:0 MP@HL 6 a 50Mbps (720p a 1080i)

Codificador de audio:

Codificación de audio MPEG capa II audio

Codificación de dos canales dolby digital (AC-3)

Paso para canales de 1 a 5.1 codificados en dolby digital (AC-3)

Paso para dolby digital E precodificado

Codificación estándar de 32 kbps a 384 kbps

Codificación dolby con tasas desde 64 kbps a 640 kbps

Puede seleccionarse audio lineal sin compresión en PCM con un muestreo de 20 bits por muestra.

5.1.2 Codificador de definición estándar tandberg

El codificador E5720 es un codificador MPEG-2, es un componente para aplicaciones multicanal de banda ancha, satelital, terrestre o aplicaciones de distribución.

Dentro de sus características se encuentra:

Características de entrada:

Características de video:

Entrada de serial digital SDI

Entrada análoga compuesta PAL/NTSC.

Entrada por componentes SDI 625 y 525 líneas

Características de audio:

dos pares estéreo

Entradas de audio analógico balanceada de 600/20K ohms

Nivel de entrada: 12, 15, 18, 22 y 24 dB.

Entrada AES-EBU o SDI

4 pares estéreo pueden ser extraídos desde el SDI

Características de salida

Tres salidas tipo ASI de cobre, las cuales llevan un único programa de flujo de transporte SPTP (Single Program Transport Stream)

Características de codificación

Codificación de video MPEG-2 MP@ML de 1.5 Mbit/s a 15Mbit/s

Estimación de movimiento exhaustiva.

Codificación de audio MPEG-1 capa II.

Codificación dolby digital AC-3 a dos canales.

dolby digital AC-3 de 1 a 5.1 canales

Conector RS232 y RS422 para baja y alta velocidad de datos

Generador de patrón de prueba e inserción de logotipo.

6 ranuras para otras opciones.

5.1.3 Codificador MPEG-2 SD Maestro de definición estándar

Es un codificador de MPEG-2 fabricado por Computer Modules Inc.

Especificaciones.

Características de entrada:

Señal de entrada: video compuesto; S-video; video por componentes opcional y entrada SDI con audio incluido o AES opcional

Formato de video: PAL o NTSC

Formatos de compresión: MPEG-1; MPEG-2 MP@ML

Velocidad máxima de codificación: 15Mbps

Entrada de audio

Formado de compresión: MPEG-1 capa 1, capa 2

Velocidad de muestreo de la señal: 32 Khz, 44.1Khz, 48Khz.

Características de salida

Salida de datos DVB-ASI serial

Conector: 50 ohm (75), BNC

Velocidad de transmisión de datos: 270 Mb/s

Formato de los datos: modo byte

Longitud del paquete: 188 – 204

Nivel de la señal: 800mV

Control: interface PC con GUI

5.1.4 Codificador MPEG-2 Thomson Broadcast System DBE4130

Es un codificador de MPEG-2 para transmisiones.

Características:

Características de entrada:

PAL/NTSC, de alta calidad

SECAM opcional

SDI 4:2:2 de 270 Mbps (625/525)

Compuesto según ITU-R 470-2 rep 624-4

Relación señal-ruido: > 61 dB

Respuesta en frecuencia: 0.15-5.7Mhz (PAL)

Entrada de audio:

Dos canales estéreo analógicos o 4 monoaurales con muestreo de 18 bits a 48 kHz o SDI de audio incluido

Dos entradas digitales AES/EBU (opcional)

MPEG1 capa II, de 64 a 284 kbps

Características de salida:

3 puertos DVB ASI O/P

Velocidad de bits: 1 a 54 Mbps

Señalización: SI/PSI completamente acorde con DVB

Formato de Compresión: MPEG-2 MP@ML.

Cumple con los estándares MPEG-2 y DVB incluyendo la generación de tablas PSI/ISI

5.2 Modulador de canal

El modulador es el encargado de procesar la señal del flujo de transporte (TS) y acondicionarlo a la norma para la cual este hecho. Como se presenta en el capítulo cuatro cada estándar tiene una forma muy distinta de acondicionar la información dentro del canal de transmisión y esa acomodación de la información la realiza el modulador. Si el amplificador que posee actualmente el canal está separado del modulador, y si este posee muy buena linealidad dentro del ancho de banda de la frecuencia del canal. Es posible utilizar el amplificador que la estación de televisión ya posee. Por motivos de falta de fuentes de la investigación realizada solamente se encontró equipo según el estándar americano ATSC y el estándar europeo DVB.

5.2.1 Modulador Apex ATSC

Este excitador ATSC provee una señal 8VSB según lo requerido por la FCC y la ATSC. Tiene la opción corrección adaptativa en tiempo real, la cual permite mantener la relación señal ruido dentro de lo establecido.

Características

Entrada de flujo de transporte: 75 ohms (BNC aislado), ATSC/MPEG-2, cumple con SMPTE 310-m, 19,39 MBit/s

Conector de salida RF de 50 ohm, SMA

Ecuación lineal completamente digital

Precorrección no lineal digital

Corrección optimizada para IOT y transmisores de estado sólido.

Pantalla a colores sensible al tacto para interface de 320 x 240

Construido para monitoreo de modulación 8-VSB.

Muestreo RF (entrada para filtro de alta potencia): 50 ohm, SMA, con un rango dinámico de -30 a +5 dBm.

Muestreo RF (entrada para amplificador): 50 ohm, SMA, con un rango dinámico de -30 a +5 dBm.

Muestreo RF (entrada IPA): 50 ohm, SMA, con un rango dinámico de -30 a +5 dBm.

Rango de frecuencia: VHF y UHF canales del 2 al 69

Entrada de referencia de 10 Mhz: 50 ohms (BNC), senoidal, -10 a +10 dBm, pérdida de retorno ≥ 20 dB

Requerimientos eléctricos: 110/220 VAC, $\pm 10\%$, monofásica, 50 a 60 Hz

Potencia consumida: 140 watts

Especificaciones de rendimiento:

Máxima potencia de salida: 250 mW promedio

Relación señal ruido: 35 dB, típicamente

5.2.2 Modulador ATSC ATSC987 ABE.

Este es un modulador 8VSB de frecuencia intermedia cumple el estándar para televisión digital terrestre ATSC. Genera una salida en una frecuencia intermedia de 44.0 Mhz

Características generales:

Flujo de datos ATSC

Fuente de entrada: TTL o LVDS (seleccionable)
 Un conector D-sub de 25 pines
 SMPTE310M (75 ohm BNC)
 Opción: ASI (BNC)

Velocidad de bit de datos: 19.392658 Mbits/seg.

Modulación

Tipo de modulación: 8 niveles VSB Trellis para transmisión terrestre ATSC.

Relación señal ruido en la banda: ≥ 30 dB sin ecualización

Etapas de frecuencia intermedia.

Frecuencia de portadora: 44Mhz (centro del canal)

Estabilidad y precisión de frecuencia: bloqueada a la entrada del rezo de flujo de datos.

Tipo de conector: BNC

Impedancia del conector: 50 ohm (sin protección)

5.2.3 Modulador DVB Dual 4050 QAM Wavecom

Especificaciones

Características de salida

Frecuencia de salida: 44.0 Mhz frecuencia central

Nivel de salida: +25 a +40 dBmV (33dBmV nominal)

Impedancia de salida: 75 ohm

Conector de salida: hembra

Modulación QPSK, 16, 32, 64, 128, 256 QAM

Velocidad de símbolo: 7.1MSímbolos/seg. máximo

Características de entrada

Variación permitida de la velocidad de bit de entrada: ± 25 Ksímbolos/seg.

Codificación: DVB, DAVIC, DCII.

Formato de entrada: DVB-ASÍ 188/204 coaxial, DVB-paralelo, DVB serial sincrono

Formato de datos: 188 o 204 bytes MPEG-2 de flujo de transporte

Conectores de datos: ASÍ BNC hembra de 75 ohm; paralelo o serial sincrono en un socket D subminiatura w/hembra con postes.

5.2.4 Modulador Cofdm DVB-T CMI

Elaborado por Computer Modules Inc. Este modulador cumple con la norma europea DVB para transmisiones terrestres

Especificaciones

Entrada: Flujo de transporte MPEG-2 (TS MPEG-2), DVB ASÍ y DVB SPI (LVDS)

Longitud de datos: 188 – 204 bytes

Salida: Frecuencia intermedia 70Mhz, UHF 474- 868 Mhz

Esquemas de modulación: 64 QAM, 16QAM y QPSK

Modos de operación: puede utilizarse en los modos 2k y 8k

Intervalo de guarda: 1/32, 1/16, 1/8, 1/4

Corrección de errores: FEC, velocidades de codificación $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{7}{8}$, reed-solomon (modo 204 bytes)

Control: RS232

5.3 Transmisor

EL transmisor incluye un modulador de canal o excitador y un amplificador. Como se menciona anteriormente, el modulador acondiciona la información del flujo de datos en las frecuencias y el formato de transmisión acordado según el estándar que se ha de utilizar.

El amplificador suministra la potencia necesaria para que la señal sea trasladada a la antena transmisora, este amplificador de potencia debe ser lineal dentro del ancho de banda asignado al canal, debido a que la no linealidad del amplificador causaría, en cualquiera de los estándares, graves pérdidas de información. Un transmisor contiene un modulador y un amplificador que cumplen con las características mencionadas anteriormente.

5.3.1 Transmisor de baja potencia UHF para DVB-T o ATSC R&S SV7000

El amplificador de SV7000 diseñado por Rohde & Schwarz. Provee potencias desde 10W hasta 200 W. Su rango de frecuencia disponible es la banda de UHF. Es un transmisor con entrada ASI y RF. Esta disponible en los estándares ATSC o DVB-T. El conector de salida es un conector tipo N. Este transmisor consta de un excitador y un amplificador de potencia. Cada elemento de este sistema puede ser colocado por separado.

5.3.2 Transmisor DTX Advancing Broadcasting Electronics

Este transmisor cumple con los estándares DVB-T y ATSC y con los esquemas de modulación COFDM 8VSB.

Características

Potencia de salida (incluyendo la pérdida del filtro): 1W a 5KW promedio, dependiendo el modelo.

Rango de frecuencia de salida: UHF o VHF

Sistema de transmisión: cumple con los modos DVB-T 6, 7 u 8MHz; ATSC - 8VSB.

Entrada de datos: ASI

Impedancia de salida: 50 Ω

Rangos de temperatura de operación: -5° a + 45° C.

Potencia requerida: Dependiendo del modelo de 108 a 240 Vac monofásica, en el caso de una conexión trifásica consume de 208 a 415 Vac a 50/60 Hz.

5.3.3 Transmisor de 10 kW DTV de estado sólido. Aquila Broadcasting Sets DVB

Especificaciones:

Banda de frecuencia: Banda II 174–230 Mhz y Banda IV-V 470-860 Mhz

Cumple con las especificaciones de transmisión ETS 300 744.

Con capacidad para utilizarse en SFN con sincronización acorde a ETSI 101 191

Modulador CFDM; soporta los modos de operación 2k y 8k y permite para ambos redes de una sola frecuencia o de frecuencia múltiple (SFN o MFN)

Amplificador de banda ancha línea para radiofrecuencia, salida RF para utilizar en paralelo varias unidades de amplificación.;

Salida de RF para filtro pasabanda, de 8 Mhz de ancho de banda.

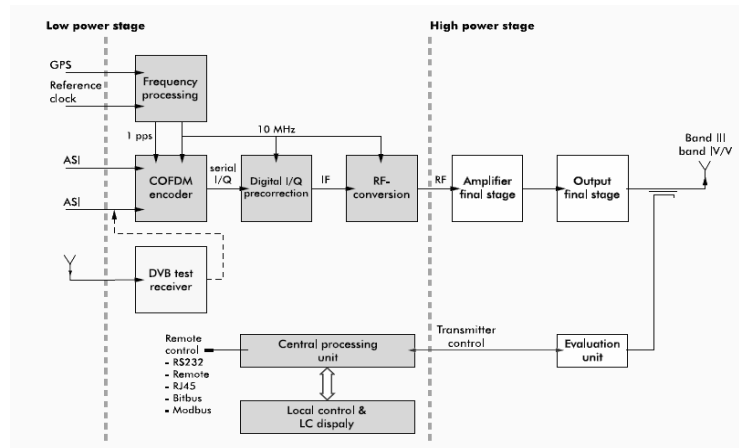
5.3.4 Transmisor Harris DTV 660 DVB

Este transmisor tiene una presentación modular. El transmisor DTV 660 está disponible con un modular opcional multi estándar para canales que requieran transmisiones análogas y digitales.

El modulador DSM 660 permite a el transmisor DTV 660 operar como una unidad análoga con la habilidad de realizar una fácil actualización a un servicio digital después un tiempo simplemente cambiando un modulo en el excitador.

La unidad incluye un codificador COFDM, este integra adaptadores ASI y SFN, precorrección digital y procesamiento de frecuencia con un receptor GPS para operación en SFN. La unidad controladora puede ser actualizada con un receptor opcional de DVB-T para aplicaciones de retransmisión.

Figura 72 Diagrama de bloques del transmisor Harris DTV 660



Fuente: Harris Broadcast Europe Hirschmann DTV 660 Series Hoja de especificaciones.

5.3.5 Transmisor VHF DTV ATSC Harris PlatinumCD

EL transmisor utiliza elementos de estado sólido, posee un excitador ATSC 8-VSB lo que permite que se utilice bajo el estándar americano ATSC. Puede entregar programas de alta definición o múltiples programas simultáneos de definición estándar, en un ancho de banda de 6 MHz.

Características

Flujo de datos: SMPTE-310 M

Codificación: MPEG-2

Velocidad de bit: 19.39 Mbits/seg

5.4 Antena

El requerimiento básico de una antena para transmisión de televisión digital es ser lineal dentro del ancho de banda del canal. Por esa razón, algunas empresas han iniciado la elaboración de antenas para aplicaciones de televisión digital; dentro de ellas se presentan las siguientes propuestas.

5.4.1 Antena para transmisiones de DTV JAMPRO JUHD de banda ancha

La antena JUHD de banda ancha con panel UHF está diseñada como una antena de montaje lateral o una antena de montaje superior. Provee varios patrones de azimut y elevación. Con el uso de un haz inclinado y relleno nulo, el patrón de elevación puede ser modelado para maximizar la cobertura.

El diseño de estas antenas polarizadas horizontalmente pueden ser configuradas para incluir variación de niveles de polarización vertical, con resultados que van desde pequeñas cantidades de polarización elíptica.

Para evitar daños causados por la lluvia y el viento los paneles están instalados dentro de una cubierta.

Esta antena esta disponible en una gran variedad de patrones de azimut estándares o personalizados. A través del diseño de un sistema de alimentación el cual provee un excelente desempeño sin tomar en cuenta la estación del canal, las variaciones del patrón sobre la banda son minimizadas. Diferentes configuraciones producirán varias ganancias, pesos y cargas de viento.

Especificaciones eléctricas.

Polarización: horizontal/ vertical

Rango de frecuencia: 470-800MHz

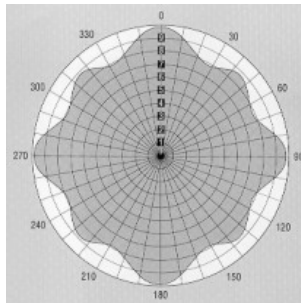
Impedancia: 50 ohm

VSWR: 1.1:1

Potencia promedio por panel: 2.5kw

Se muestra en la figura el patrón de azimut omnidireccional formado por el arreglo de estos paneles.

Figura 73. Patrón de radiación antena UHF JUHD



Fuente: *Jampro Antenas Inc.* **Antenna JUHD.** www.jampro.com

El anterior arreglo de paneles tiene las siguientes características

Tabla XVI Características antena JUHD

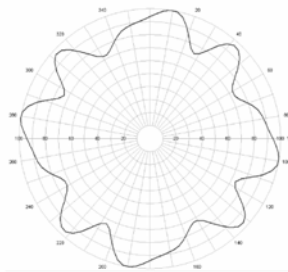
Especificaciones Electricas			Especificaciones Mecánicas	
Número de bahias	Ganancia de potencia	Ganancia (dB)	Peso del arreglo	Carga de viento (lbs)
4	15,8	12	797	2699
6	24	13,8	1195	4049
8	31,7	15	1594	5398
10	39,6	16	1992	6748
12	47,5	16,8	2352	8097
14	5,4	17,4	2744	9447
16	63,4	18	3136	10797

Fuente: Jampro Antenas Inc. **Antena JUHD**. www.jampro.com

5.4.2 Antena UHF TV Alan Dick & Company.

Esta antena está formada por paneles de banda ancha, al menos dentro de la banda de UHF (470 – 860 Mhz) y posee una polarización horizontal. La disposición de los paneles permite que esta antena posea un patrón de radiación omnidireccional. Es adaptable para la transmisión de varios canales de alta potencia digitales o análogos. Se muestra en la figura el patrón de radiación formado por el arreglo de estos paneles.

Figura 74 Patrón de radiación antena UHF Alan Dick & company



Fuente: Alan Dick & Company.. **Antena UHF**. Hoja de especificaciones. 2003

Especificación de paneles

Rango de frecuencia: 470-860

Polarización: Horizontal

Rango de potencia- dependiendo del conector de entrada:

1 5/8" IEC 5kW a 860 Mhz

7/8" IEC 1.8 W a 860 Mhz

Longitud eléctrica: 2 longitudes de onda a 565 Mhz

Impedancia de entrada: 50 ohm

Entrada VSWR: 1.1:1

Ganancia (relativo a un dipolo de media onda): 10.9dB a 470 Mhz
1200dB a 630 Mhz

Protección contra rayos: Aterrizado de DC

5.4.3 Antena VHF TF-O superturnstile

Esta antena fabricada por Dielectric Communications, diseñada para realizar transmisiones de televisión digital en la banda de VHF.

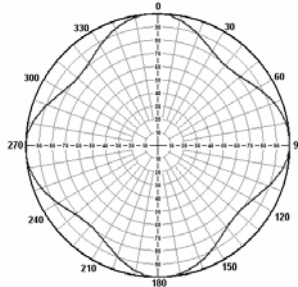
Características

Polarización: Horizontal

Ganancia: 11 dB RMS

Longitud: 2.6 m

Figura 75 Patrón de radiación antena VHF TF-O Supertunstile



Fuente: *Dielectric Communicatios*. **Antenna VHF TF-O Supertunstile**. Hoja de especificaciones. 2003

5.4.4 Antena Jampro Batwing VHF

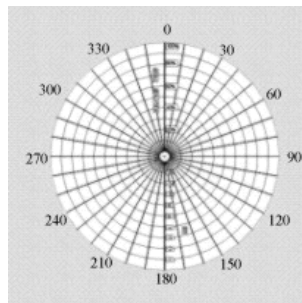
Características

Rango de frecuencia: banda I (canal 2-6) y Banda III (canal 7-13)

Entrada EIA 50 ohms

Potencia: 3kW canal 2- 3 por bahía; 2kW canal 4-6 por bahía; canal 7- 13 8kW por bahía

Figura 76 Patrón de radiación Batwing VHF



Fuente: *Jampro Antenas Inc.* **Antenna Batwing VHF**. www.jampro.com

5.5 Propuesta de equipo para digitalizar las transmisiones de televisión

Dentro del equipo sugerido en este capítulo para realizar la migración de las transmisiones de televisión se presentan dos propuestas concretas, con el supuesto que el transmisor que posee la estación de televisión posee equipo de producción analógico.

Otro aspecto que se debe tomar en cuenta es la necesidad de precisar la norma que oficialmente se adopte para Guatemala, dentro de los estándares de televisión digital que existen.

5.5.1 Equipo para la norma ATSC

Luego de haber realizado una comparación entre los equipos se proponen los siguientes componentes del sistema de transmisión según la norma de televisión digital ATSC.

El codificador de MPEG-2 propuesto es el Tandberg E5821 debido a que posee entrada para formato analógico compuesto y entradas de audio analógicas, para dos canales útiles durante el proceso de digitalización de el equipo de producción.

Es compatible con las normas ATSC y DVB, este incluye la posibilidad de generar flujos de datos tanto en formato estándar (SDTV) y en formato de alta definición (HDTV) y también posee entradas digitales tanto de audio como de video, las cuales serán útiles cuando la estación ya posee un equipo de producción totalmente digital.

El modulador de ATSC propuesto es el Apex ATSC porque no necesita elevador de frecuencia, se encuentra disponible en el rango de frecuencias de las bandas VHF y UHF.

Si el amplificador que utiliza la estación posee una buena linealidad dentro del ancho de banda del canal asignado puede utilizarse para darle potencia a la señal emitida por el modulador de ATSC.

Si el amplificador es muy lineal puede presentar problemas de pérdida de información con lo cual sería necesario cambiarlo. De ser así se propone comprar un transmisor específico de televisión digital.

La propuesta en este caso es el transmisor DTX de la empresa Advanced Broadcasting Electronics. Este puede solicitarse para que trabaje tanto en la banda de VHF como en la banda de UHF. También se encuentra disponible la opción de elegir entre un modulador de ATSC o de DVB con lo cual tienen la posibilidad de trabajar en cualquiera de los dos sistemas.

Para la antena la diferencia básica que marcan las características de cada antena según datos del fabricante, el modelo JUHD de Jampro posee la capacidad de ser utilizada para polarización horizontal o elíptica. Puede ser utilizada para cualquier norma de televisión digital.

5.5.2 Equipo para la norma DVB

Bajo la norma europea DVB puede utilizarse de nuevo el codificador de MPEG-2 Tandberg E5821.

El modulador a utilizarse en el caso de que la estación posee un amplificador de potencia con alta linealidad es el modulador DVB-T CMI, puede trabajar en los modos 2k y 8k, también se encuentra disponible para canales con ancho de banda de 6,7 u 8 Mhz. Opera en el rango de frecuencia de UHF 474Mhz a 868 Mhz

Si la estación no posee un amplificador con un alto grado de linealidad el transmisor propuesto es el DTX de Advanced Broadcasting Electronics. Como se mencionó este transmisor puede solicitarse para trabajar tanto en la banda VHF como en el UHF.

Para la antena si se trabaja en VHF puede utilizarse tanto el modelo de Jampro como el modelo TF-O Superturnstile de Dielectric communications. Dependerá de el patrón de radiación que requiera el canal.

CONCLUSIONES

1. No es necesario cambiar todo el equipo de un canal para realizar transmisiones digitales.
2. El conjunto de herramientas utilizadas para la generación de televisión digital es la reunión de conocimientos básicos de comunicaciones que en conjunto realizan un complejo manejo de información de audio ,video y otros datos que pueden enviarse a través de este sistema.
3. El sistema europeo y el sistema japonés son más robustos que el americano, debido a que el estadounidense es más sensible a los cambios del nivel de la señal.
4. La utilización del sistema de televisión digital proporciona grandes mejoras técnicas con lo cual se mejora el servicio y la variedad de aplicaciones que un sistema de televisión digital puede contener.
5. La televisión digital permite el aprovechamiento eficiente del ancho de banda utilizado, en formato simple pueden enviarse hasta cuatro canales por el mismo ancho de banda de un canal de televisión analógico.

RECOMENDACIONES

1. Puede utilizarse el mismo amplificador utilizado por la estación de televisión siempre y cuando este tenga una respuesta lineal con lo que se pueden bajar los costos de la transmisión.
2. Las autoridades encargadas de las regulaciones de las comunicaciones en el país deben determinar el estándar que se utilizará para Guatemala y de esta manera permitir que quienes quieren invertir en el mejoramiento de sus transmisiones no estén a la expectativa atrasando así el proceso.
3. El sistema europeo debido a sus características es más estable que el estadounidense, por eso sería conveniente su uso; sin embargo, es necesario analizar la factibilidad económica. Desde el punto de vista técnico el sistema europeo es mejor. Desde el punto de vista económico es uno de los dos más convenientes.
4. La migración gradual al sistema digital es una forma muy conveniente para cualquier canal, esto implica que se debe planificar, de lo contrario, en algunos años los canales de televisión guatemaltecos, especialmente los de pocos recursos económicos, quedarán técnicamente atrasados y probablemente hasta fuera de servicio.
5. Que las autoridades guatemaltecas asignen gratuitamente frecuencias a las estaciones de televisión que operan en el país; para que transmitan tanto en el sistema análogo y digital; y así, incentivar la inversión en este campo.

BIBLIOGRAFÍA

1. **8VSB Digital If Modulator ATSC987**. Advanced Broadcasting Electronics. 2 págs. Italia. 2002
2. **Advanced Television Systems Committee**. <http://www.atsc.org>
3. Alfredo Fuentes **Técnico de transmisiones TV USAC**
4. Alma Technologies **spartanII-dct Data sheet**, Xilinx Devices.3 Págs. www.xilinx.com
5. Alma Technologies **spartanII-idct Data sheet**, Xilinx Devices.3 Págs. www.xilinx.com
6. **Antena JUHD .Jampro Antennas Inc**. Estados Unidos. www.Jampro.com
7. **Antena UHF Alna Dick & Company**. Hoja de especificaciones 2 págs. 2003
8. **Antena VHF TF-O Superturnstile**. Dielectric Communications www.dielectric.com
9. Antenna Concepts www.antennaconcepts.com
10. **Apex ATSC Televisión Exciter**. Hoja de especificaciones. Harris Broadcast Communications Division. 2 págs. Estados Unidos. 2001
11. Association of Radio Industries and Bussines. **Video Coding, Audio Coding and Multiplexing Specifications for Digital Broadcasting**. ISDB Documento ARIB STD-B32
12. **ATSC Standard, Digital Television Standard, Revision B with Amendments 1 and 2**. Documento A/53B (2003) 92 Págs.
13. B.P. Lathi **Introducción a la teoría y sistemas de comunicación**, México: Limusa, 1991, 409p.
14. **Batwing Antenna VHF TV**. Jampro Antennas Inc .Estados Unidos www.Jampro.com

15. Boylestad Robert **Electrónica: teoría de circuitos.**6ed. Prentice Hall 1997, 949p.
16. **Broadcast Encoder DBE 4130.** Hoja de especificaciones. 2 págs. Nextream. Alcatel y Thomson. <http://www.nextream-online.com>
17. David Sparano **What exactly is 8-vsbs anyway?** Principal Engineer with Harris Corporation Broadcast Division in Quincy, Illinois. 3era ed. 1997. 14 Págs.
18. **DBE 4110 DSNB Encoder MPEG-2/DVB Encoder** (Release 6.4) Technical specifications 47232871AH Francia. 2001. 6 Págs.
19. **Digital DVB-T/ATSC solid state cfdm/8vsbs tv transmitter line.** Hoja de especificaciones 4pags. Advanced Broadcasting Electronics S. p. A. Italia www.abe.it
20. **Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television** Documento ETSI TR 300 744 V1.4.1 (2001) 49 pags.
21. **Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for the use of MPEG-2 Systems, Video and Audio in Contribution and Primary Distribution Applications.** Documento ETSI TR 102 154 V1.4.1 (2001) 63 pags.
22. **Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for the use of MPEG-2 Systems, Video and Audio in Satellite, Cable and Terrestrial Broadcasting** Documento ETSI TR 101 154 V1.4.1 (2000) 60 pags.
23. **Digital Video Broadcasting.** <http://www.dvb.org>
24. Dolby laboratories www.dolby.com
25. Dr. Leonardo Chiariglione. **International Organisation for standardisation organisation internationale de normalisation ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Coding of Moving Pictures and Audio.** <http://www.chiariglione.org/mpeg/standards/mpeg-2/mpeg-2.htm>

26. Dr. Thomas Sikora, Chairman MPEG Video Group. **Moving Picture Experts Group**. Email: sikora@hhi.de Address: Heinrich-Hertz-Institute for Communication Technology Berlin GmbH Einsteinufer 37 D-10587 Berlin <http://wwwam.hhi.de/mpeg-video/>
27. **Dual 4050 QAM Modulators**. Wavecom Electronics inc. Hoja de especificaciones. 2 págs. www.wavecom.ca. Canadá 2002
28. **E5720 MPEG-2 Encoder**. Hoja de especificaciones. Tandberg Televisión. 3 págs. 2004 www.tandbergtv.com
29. Faria Gerard **COFDM: An opportunity to operate Differently Broadcast networks?** Director of Research ITIS, Francia 1999 6 págs.
30. Fredy Fabián Cuello Rojas Juan Carlos Rueda Erazo **Compresión de Video Digital bajo los estándares MPEG**. Fundación Universidad Autonoma de Colombia. www.fuac.edu.co
31. Grob, Bernard **Televisión práctica y sistemas de video**, México: Alfaomega, 1995 465p.
32. **Hirschmann DTV 660 Series** Hoja de especificaciones Harris Broadcast Europe 6 págs. 2001 <http://www.broadcast.harris.com>
33. Ing. Roberto Lauro. Cuaderno Técnico No 4. Primera parte. **Sistema MPEG-2 Redundancia Espacial**. Cuyo Televisión S.A. Argentina. 22 Págs.
34. Ing. Roberto Lauro. Cuaderno Técnico No. 4 **Sistema MPEG-2 Compresión Espacial**. Cuyo Televisión S.A. Argentina. 15 Págs.
35. Ing. Roberto Lauro. Cuaderno Técnico No. 4 **Sistema MPEG-2 Compresión Temporal. Movimiento en el Cine y la TV**. Cuyo Televisión S.A. Argentina. 12 Págs.
36. Ing. Roberto Lauro. Cuaderno Técnico No. 4 **Sistema MPEG-2 Compresión Temporal. Compensación de movimiento**. Cuyo Televisión S.A. Argentina. 8 Págs.
37. Ing. Roberto Lauro. Cuaderno Técnico No.4 Parte III. **Sistema MPEG-2 Estructura del TS MPEG2, Multiplexado de TS's..** Cuyo Televisión S.A. Argentina. 6 Págs.
38. Ing. Roberto Lauro. Cuaderno Técnico No.4 Parte III. **Sistema MPEG-2 Estructura del TS MPEG2, Multiplesado de TS's..** Cuyo Televisión S.A. Argentina. 6 Págs.

39. International Telecommunication Union Radiocommunication Study Groups. **Document 11A/Jxx-E Channel coding, frame structure and modulation scheme for terrestrial integrated services digital broadcasting(ISDB-T)** 1999. 54 págs.
40. Joaquín Azpiroz Leehan y Sonia Charleston Villalobos. **Estudio comparativo de cuatro métodos de compresión para imágenes de resonancia magnética nuclear** Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.
41. MPEG Software Simulation Group. **MPEG-2 Frequently Asked Questions List Draft 3.4 (June 18, 1994)**. Telemedia, networks and systems group at the MIT
42. Laboratory for Computer Science www.tns.lcs.mit.edu
43. **Museo virtual IEEE**; www.ieee-virtual-museum.org
44. **Nippon Hoso Kyokai**. <http://www.nhk.or.jp>
45. Pérez David **Resumen Monográfico de Tubos y CCD** Escuela superior de ingenieros industriales y telecomunicaciones **www.alumnos.unican.es**
46. **PlatinumCD series**. Hoja de especificaciones. 2 págs. Estados Unidos. 2000 Harris Broadcast Communications Division. <http://www.broadcast.harris.com>
47. Ruiz Vasallo, Francisco. **Televisión**, 3a. Ed. España Ceac, 1991 629 p.
48. **SD Maestro codificador de alta definición**. Computer modules inc. Estados Unidos www.computermodules.com
49. Skiver Milton Fundamento de la tv en color, México: Marcombo, 2da. Ed. **SV7000 UHF Low power DTV transmitter**. ROHDE&SCHWARZ Co. Hoja de especificaciones. 4 págs. Alemania 2002 www.rohde-schwarz.com
50. Taub, Herbert y Donald Shilling **Principles of communication systems**, Singapore: McGraw Hill 1986 751p.
51. Tomás de Galiana Mingot, **Diccionario Técnico Larrousse** México 1979 s.e.
52. Tortora Gerard. **Principios de anatomía y Fisiología**. 6ed. Oxford 1999.

53. **VHF-UHF Transmitter Fully solid state.** Aquila Broadcasting Sets S.p.A.
<http://www.abs-spa.com>

54. **www.mp3-tech.org**

55. **www.tvhandbook.com**

56. **www.ucalgary.ca**