

T
621.388
EEU



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y
Computación

" PROCESO DE CONVERSION DE TRANSMISION ANALOGA
A DIGITAL EN UN SISTEMA DE TELEVISION POR CABLE
MANTENIENDO CONTINUIDAD CON LOS OTROS SERVICIOS
QUE SE TRANSMITEN EN LA RED HFC "

TESIS DE GRADO

Previo a la obtencion del titulo de:
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Presentada por:

María Belén Egüez Del Pozo



Guayaquil - Ecuador
Año 2005

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“PROCESO DE CONVERSIÓN DE
TRANSMISIÓN ANÁLOGA A DIGITAL EN UN
SISTEMA DE TELEVISIÓN POR CABLE
MANTENIENDO CONTINUIDAD CON LOS
OTROS SERVICIOS QUE SE TRANSMITEN EN
LA RED HFC”**

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

Presentada por:

MARÍA BELÉN EGÜEZ DEL POZO

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2005



CIB-E



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por mostrarme el camino correcto y darme una familia sin cuyo ejemplo y aliento no hubiera podido lograr esta meta; a mis padres por fomentar en mi los más altos ideales y por ser ambos un ejemplo viviente de perseverancia, honestidad y amor; a mis hermanas por su apoyo y amistad incondicional; a la ESPOL por brindarme una educación de excelencia dentro del país y a través de su convenio con la Universidad Politécnica de Cataluña; al Ing. César Yépez por brindarme su dirección durante la realización de este trabajo; a Edison por volar a mi lado y compartir mis continuos deseos de superación.

DEDICATORIA



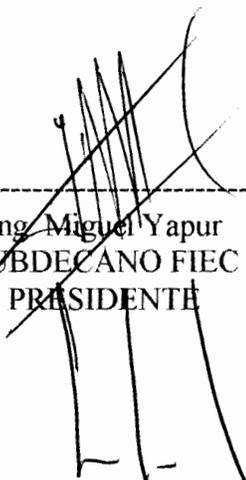
CIB-ESP



CIB-ES

Este trabajo va dedicado con mucho amor a mis padres, quienes siempre me han apoyado e incentivado a seguir los caminos del conocimiento brindándome su amor y su cariño en cada etapa de mi vida; a mis dos hermanas cuyo cariño y amistad nunca me ha faltado; a Edison cuya compañía y amor me han acompañado en esta etapa de mi vida; especialmente este trabajo se lo dedico a Dios quien me protege y guía mis pasos y a la Virgen cuyo amor incondicional me ha acompañado siempre.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

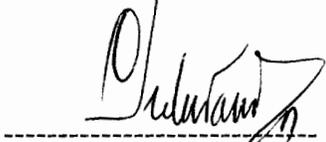


Ing. Miguel Yapur
SUBDECANO FIEC
PRESIDENTE

Ing. César Yépez
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Sergio Linfa
VOCAL PRINCIPAL



Ing. Pedro Vargas
VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden *exclusivamente*; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



María Belén Egúez Del Pozo



CIB-ESPOL

ESCUOLA SUP

CI

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo mostrar los aspectos más relevantes a considerar en un proceso de conversión para transmisión de televisión digital en una red de cable, entre estos aspectos esta la elección del estándar mas adecuado para la digitalización de las señales de televisión según los requerimientos del operador, y el diseño de la red que permita la transmisión simultanea de señales de televisión digital y analógica durante el período de transición.

En el capítulo 1 se presentan las principales características del estándar analógico adoptado en nuestro país para la transmisión de señales de televisión, NTSC, luego se presentan una comparación que una señal de este tipo presenta frente a otros estándares analógicos y digitales.

El capítulo 2 inicia con una descripción de la televisión digital en sus tres formas de transmisión: satelital, terrestre y por cable, se estudiarán estas tres posibilidades y se demuestran las razones que postulan a la transmisión por cable como la forma más adecuada de iniciar la transmisión de televisión digital en nuestro país. El concepto de televisión digital esta altamente ligado al proceso de codificación MPEG, en este capítulo se verán los procesos que atraviesa una señal analógica de televisión para convertirse en un flujo de paquetes de longitud fija que representan una señal digital comprimida de televisión. Este capítulo termina indicando las ventajas que tiene una señal digital de televisión sobre una señal analógica.

En el capítulo 3 se hará una descripción de los dos estándares adoptados mundialmente para la transmisión de televisión digital: DVB y CableLabs, el primero adoptado en Europa y el segundo de origen americano, se presentará un estudio de los aspectos principales que cada especificación presenta con el objeto de establecer las diferencias entre ellos. Se verá como Open Cable presenta una alternativa más robusta en el aspecto de seguridad, convirtiéndose en el estándar más adecuado para adoptarse en el diseño de la red.

En el capítulo 4 se presenta el diseño de la red, con los bloques que la componen y que permitirán la transmisión simultánea de señales analógicas y digitales, se muestra la transformación que la señal atraviesa en cada etapa; en la parte correspondiente a la modulación se presentan los cálculos necesarios para obtener el flujo de información que irá contenido en un canal con modulación 64-QAM en un ancho de banda de 6 MHz. En este capítulo se consideran los aspectos relacionados al monitoreo de la señal mediante el Analizador QAM que a diferencia del Analizador de Espectros, brinda mayor información para los canales modulados en amplitud de cuadratura.

En el capítulo 5 se consideran los costos de implementación e infraestructura que conlleva la implementación de la red, estos factores son determinantes para la puesta en marcha del servicio.

En el capítulo 6 se presentan las conclusiones de este trabajo así como las perspectivas que el servicio brindado tiene a futuro.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. EL MÉTODO DE CODIFICACIÓN ANÁLOGO NTSC.....	4
1.1. Propiedades.....	4
1.2. La señal de color: luminancia y crominancia, RGB -YUB.....	6
1.2.1. La matriz de color.....	7
1.3. Desventajas de la televisión en formato analógico.....	7
1.3.1. Resolución.....	8
1.3.2. Ancho de banda.....	
1.3.3. Relación altura-ancho (Aspect Ratio).....	
CAPÍTULO 2	
2. LA TELEVISIÓN DIGITAL.....	10
2.1. El Mercado de la televisión digital.....	11
2.1.1. La televisión digital terrestre.....	11
2.1.2. Televisión digital satelital.....	11



CIB-ESP



CIB-ESP



CIB-ESP

2.1.3. Televisión digital por cable.....	12
2.1.3.1. Ventajas del sistema de transmisión digital de video por cable.....	12
2.2. MPEG.....	14
2.2.1. MPEG-2: proceso de codificación del video	15
2.2.1.1. Muestreo de la señal de video.....	16
2.2.1.2. Transformada Discreta Coseno.....	18
2.2.1.3. Codificación.....	20
2.2.1.4. Predicción.....	21
2.2.1.4.1. Tipos de imágenes:.....	24
2.2.1.5. GOP (group of pictures).....	24
2.2.2. Formato de los datos a la salida del codificador MPEG-2.....	25
2.2.3. MPEG-2: proceso de codificación del audio.....	28
2.2.4. El Flujo de Transporte (TS).....	32
2.2.4.1. Información Específica del Programa (PSI).....	34
2.2.5. Perfiles y niveles de MPEG-2.....	35
2.2.5.1. Main profile @ Main level.....	38
2.2.6. Interfaces para transporte de MPEG-2 TS.....	39
2.3. Ventajas de la señal digital de televisión sobre la analógica.....	40

CAPÍTULO 3

3. DVB Y CABLELABS.....	43
3.1. Digital video broadcast.....	43

3.1.1. Información del Sistema.....	44
3.1.2. DVB-C.....	45
3.1.3. Interfaces.....	46
3.1.4. Teletexto	46
3.1.5. Acceso Condicional.....	46
3.1.6. Canal de Retorno.....	47
3.1.7. Facturación.....	47
3.1.8. Interoperabilidad.....	47
3.2. Open Cable.....	48
3.2.1. Codificación del audio AC-3.....	49
3.2.2. Información del Sistema.....	50
3.2.3. Transmisión.....	51
3.2.4. Acceso Condicional.....	52
3.2.5. Sistema de seguridad	52
3.2.6. Identificación de equipos ilegales.....	53
3.2.7. Interface.....	54
3.2.8. Teletexto.....	54
3.2.9. Canal de retorno.....	54
3.2.10. Facturación.....	55
3.3. Análisis de los dos estándares.....	55
3.3.1. Puntos clave de DVB sobre Open Cable.....	56
3.3.2. Puntos clave de Open Cable sobre DVB.....	56

3.3.3. Aspectos determinantes en la elección del estándar más adecuado para transmisión de televisión digital	57
---	----

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO DE LA RED.....	61
4.1. Características de las señales de entrada.....	61
4.2. Características del Encoder NTSC-MPEG-2.....	64
4.3. Equipos de recepción satelital.....	66
4.4. Multiplexación.....	67
4.4.1. Configuración de la Información del Sistema.....	68
4.5. Encriptado.....	71
4.6. Modulación.....	71
4.6.1. Determinación de la tasa de información en los canales QAM.....	72
4.6.2. La relación señal a ruido.....	74
4.6.3. El BER y el MER.....	75
4.6.4. El Analizador QAM.....	78
4.6.4.1. Monitoreo de la señal.....	80
4.6.5. Capacidad del canal	82
4.7. Esquema de la red.....	83
4.8. La red de control.....	87
4.8.1. Modulador del canal de datos de bajada (FDC).....	87
4.8.2. Demodulador del canal de datos de subida (RDC)	87
4.8.3. El Sistema Administrador del Head End	88

4.8.4. Sistema de Acceso Condicional (CAS).....	89
4.8.5. Guía Electrónica Programable.....	90
4.9. Equipo Terminal del usuario.....	90
 CAPÍTULO 5	
5. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN E INFRAESTRUCTURA.....	92
5.1. Costo de adquisición de los equipos.....	92
5.2. Costos y tiempo de implementación del proyecto.....	95
5.2.1. Etapas preliminares	95
5.2.2. Pruebas y puesta en marcha.....	97
5.2.3. Costos de etapas preliminares.....	99
5.3. Inversión en capacitación y mantenimiento.....	101
5.4. Análisis de rentabilidad del proyecto	103
5.4.1. Tiempo de recuperación de la inversión	105
5.4.2. Resultados esperados.....	106
 CAPÍTULO 6	
6. CONCLUSIONES	
6.1. CONCLUSIONES.....	107
6.2. PERSPECTIVAS DE FUTURO.....	108
ANEXOS.....	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113

ABREVIATURAS

ASI	Asynchronous Serial Interface
ATM	Asynchronous Transfer Mode
ATSC	Advanced Television Systems Committee
BER	Bit Error Rate
bps	Bits per second
CAS	Conditional Access System
CAT	Conditional Access Table
CRC	Cyclic redundancy check
CSA	Common Scrambling Algorithm
DES	Algoritmo Estándar de Encriptación de Datos
DHEI	Digital Head-end Extension Interface
DVB	Digital Video Broadcasting
DVS	Digital Video Subcommittee
ECB	Libro Electrónico de Códigos
EIT	Event Information Table
EPG	Electronic Programme Guide
ES	Elementary Stream
FAT	Forward Application Transport Channel
FDC	Forward Data Channel
FEC	Forward Error Correction
GOP	Group of pictures
HDTV	High definition television
HFC	Hybrid Fiber / Coax
MER	Modulation Error Rate
MP@HL	Main profile at high level.

MP@ML	Main profile at main level.
MPEG	Moving Picture Experts Group
MPTS	Multi program transport stream
NIT	Network Information Table
NTSC	National Television Systems Committee
OOB	Out-of-Band
PAL	Phase Alternating Line
PAT	Program Association Table
PES	Packetized Elementary Streams (MPEG-2)
PID	Packet identifier
PMT	Program Map Table
POD	Point of Deployment
PSI	program specific information
PSIP	Program and System Information Protocol
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
RDC	Reverse Data Channel
RF	Radio Frequency
SCTE	Society of Cable Telecommunications Engineers
SI	Service Information
SPTS	Simple program transport stream
STB	Set Top Box
TS	Transport Stream
VOD	Video-On-Demand



CIB-ESPO



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Forma de onda de exploración entrelazada	4
Figura 1.2.	Canal de televisión estándar.....	6
Figura 1.3.	Secuencia de imágenes con información redundante.....	9
Figura 2.1.	Porcentaje de suscriptores del servicio de televisión pagada	13
Figura 2.2.	Muestreo de la señal de video con formato 4:2:2.....	17
Figura 2.3.	Coefficientes de la Transformada Discreta Coseno.....	18
Figura 2.4.	Matriz de Pesos.....	19
Figura 2.5.	Exploración de la información en forma de zig-zag.....	20
Figura 2.6.	Codificación de la Información.....	21
Figura 2.7.	Predicción Interframe.....	22
Figura 2.8.	Predicción Interframe con compensacion de movimiento.....	23
Figura 2.9.	Motion compensation prediction.....	23
Figura 2.10.	Diagrama de bloques de un codificador MPEG-2.....	25
Figura 2.11.	Secuencia de formación de un ES.....	28
Figura 2.12.	Enmascaramiento de la señal de audio.....	29
Figura 2.13.	Diagrama de bloques de un codificador de audio MPEG-2.....	30
Figura 2.14.	Frame de audio.....	31
Figura 2.15.	Decodificador de audio MPEG-2.....	32
Figura 2.16.	Conformación del PES.....	32
Figura 2.17.	MPEG-2 Transport Stream.....	33

Figura 2.18.	Propiedades de la interface DVB-ASI.....	39
Figura 2.19.	Propiedades de la interface SMPTE 305M.....	40
Figura 3.1.	Conjunto de especificaciones DVB.....	44
Figura 3.2.	Estandar DVB-C.....	46
Figura 3.3.	Frame de audio AC-3.....	49
Figura 3.4.	Sistema de seguridad del estandar Open Cable.....	53
Figura 3.5.	Validación entre HOST, POD y CAS.....	53
Figura 3.6.	Equipo terminal no autenticado por CAS.....	54
Figura 4.1.	Difusión exclusiva en formato digital.....	61
Figura 4.2.	Canales en formato digital con inserción de publicidad.....	62
Figura 4.3.	Transmisión de un canal de televisión en ambos formatos.....	62
Figura 4.4.	Procesamiento de señales de entrada analógicas.....	63
Figura 4.5.	Codificación del audio y video.....	66
Figura 4.6.	Tablas PAT y PMT en un flujo de paquetes de transporte MPEG-2.....	68
Figura 4.7.	Proceso de multiplexación.....	70
Figura 4.8.	Flujo de programas multiplexados a través de la interfaz ASI.....	71
Figura 4.9.	Asignación espectral para los canales dentro de la red HFC.....	72
Figura 4.10.	Modulation Error Ratio.....	75
Figura 4.11.	Relación entre BER y MER.....	76
Figura 4.12.	Aspecto de la imagen de acuerdo a valores determinados de BER, MER y C/N.....	78
Figura 4.13.	Aspecto de una señal analógica y una digital en el	

Analizador de Espectro.....	79
Figura 4.14. Analizador QAM.....	80
Figura 4.15. Diagrama de constelación de un sistema con ganancia de compresión.....	80
Figura 4.16. Diagrama de constelación donde se puede apreciar el Ruido del sistema.....	81
Figura 4.17. Diagrama de constelación donde se puede apreciar el Ruido de fase.....	81
Figura 4.18. Diagrama de constelación donde se puede apreciar interferencia coherente.....	82
Figura 4.19. Retardo de grupo.....	82
Figura 4.20. Esquema de la RED.....	86
Figura 4.21. Estructura de un frame de datos de subida.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.	Formatos permitidos en la televisión digital.....	11
Tabla 2.2.	Velocidad de transmisión según el formato de muestreo.....	17
Tabla 2.3.	Perfiles y niveles de MPEG-2.....	36
Tabla 2.4.	Calidad de imagen a diferentes tasas de bits.....	39
Tabla 3.1.	Principales características de los estándares DVB y Open Cable.....	55
Tabla 3.2.	Tabla de ponderaciones.....	58
Tabla 3.3.	Tabla de asignación de pesos.....	59
Tabla 5.1.	Inversión Inicial.....	103
Tabla 5.2.	Valores proyectados con demanda esperada optimista.....	105
Tabla 5.3.	Resultados esperados.....	106

INTRODUCCIÓN

La televisión digital es un hecho ya palpable en los países desarrollados, brinda numerosas ventajas: alta inmunidad al ruido, alto nivel de compresión, y gran calidad de imagen y audio. Incluso organismos americanos se encuentran elaborando una ley que prohíba la venta y distribución de terminales de televisión convencionales.

Existen tres formas mediante las cuales las señales de televisión en formato digital pueden llegar a su destino: de forma terrestre, satelital y por cable. Las razones por las cuales las dos primeras formas de transmisión no son adecuadas para implementar en nuestro país radican básicamente en la capacidad adquisitiva de la población ecuatoriana, de este modo el presente trabajo se centra en el modo de transmisión de señales de televisión en formato digital por una red de cable. El cable operador que posee mas del 46% del mercado de la televisión pagada es Grupo TVCABLE, por este motivo el trabajo se centra en los requerimientos que esta red necesita para transmitir las señales de televisión en formato digital.

Una señal de televisión convencional ocupa un ancho de banda de 6 Mhz, en ese mismo espectro se pueden transmitir hasta 8 canales de televisión en formato digital a una velocidad de 3 Mbps, la eficiencia de esta nueva tecnología radica en la compresión MPEG-2, en este trabajo se presentará la forma de convertir el audio y video analógicos en paquetes de datos. Con la transmisión de señales de televisión

digitales el cable operador puede liberar espectro y ampliar sus servicios ya sean de televisión, telefonía o datos.

Entre las ventajas que el suscriptor obtiene al recibir la señal de televisión de forma digital se encuentra la gran calidad de audio y video, así como la interactividad con la red mediante los servicios de Pague por Ver (PPV) o de Video bajo Demanda (VoD). Con los servicios PPV y VoD el usuario puede adquirir películas que el cable operador oferta a través de una interfaz gráfica en pantalla del televisor y accediendo a dichos servicios mediante el control remoto; con los servicios de PPV que se transmiten en formato analógico el usuario debe realizar las peticiones por línea telefónica.

Así como existen tres formatos para la televisión analógica (NTSC, PAL y SECAM), existen dos formatos mundialmente adoptados para la transmisión de televisión en formato digital: DVB y Open Cable, el primero de origen europeo y el segundo americano. En este trabajo se determina cual es el más adecuado según los requerimientos de la empresa. Actualmente Grupo TvCable se encuentra lidiando con el problema de la piratería de su señal, mediante el cual personas no suscritas al servicio tienen acceso a todos los programas que se distribuyen por la red, esta situación ha causado pérdidas a la empresa, lográndose así ubicar a la seguridad como principal requerimiento para la transmisión de señales de televisión digitales.

El cambio en el formato de las señales de televisión transmitidas no será abrupto, existirá un proceso de transición que permitirá transmitir las señales analógicas y digitales en la red, por esta razón en el presente trabajo se diseñara la red que permitirá brindar ambos servicios. El diseño de la red se basará en el estándar escogido para la televisión digital.

Para que el diseño sea válido, en este trabajo se contemplarán los costos de infraestructura que permitirán brindar el servicio de televisión digital.

CAPÍTULO 1: EL MÉTODO DE CODIFICACIÓN ANÁLOGO NTSC

1.1. PROPIEDADES

El Comité de Estándares de Televisión Nacional, NTSC ha establecido el estándar analógico para la televisión en los Estados Unidos, y ha sido adoptado por otros países entre ellos el nuestro.

El formato NTSC consiste en 30 imágenes de video por segundo, cada una de ellas con 525 líneas horizontales que constituyen un cuadro de imagen, este se divide en dos campos de 262.5 líneas cada uno, y se exploran de forma entrelazada.

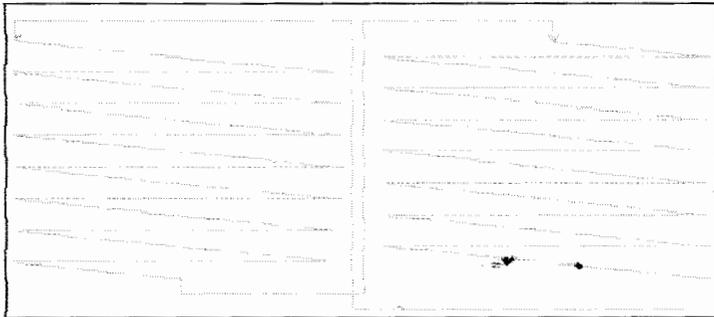


Figura 1.1. Forma de onda de exploración entrelazada

La imagen se divide en campos, uno par y otro impar y cada uno de ellos se muestra a una frecuencia de 60 campos por segundo; en el campo impar se dibujan solo las

líneas impares se empieza con una línea completa y termina en media línea, en el campo par se dibujan solo las líneas pares y empieza con media línea y termina con línea entera. Una vez que el trazo horizontal llega a su fin debe regresar a la izquierda y seguir dibujando la siguiente línea, a este movimiento se le llama **retrazo**, del mismo modo cuando el trazo vertical llega al fin de la pantalla y debe regresar al inicio Para trazar un nuevo campo.

Para explorar las 525 líneas a razón de 30 imágenes por segundo (60 campos por segundo) se requiere una frecuencia de exploración de 15750 Hz, es decir se requieren 63.5 us para explorar una sola línea horizontal

Para que la señal se sincronice con el receptor son necesarios **pulsos de sincronización**, para la sincronización horizontal se requiere un pulso cada 63.5 us y para sincronizar verticalmente se requiere un pulso cada 16.7 ms, estos pulsos se añaden a la señal de video y se transmiten al mismo tiempo que los **pulsos de blanqueo**, los cuales son necesarios para que el receptor sea blanqueado durante los tiempos de retraso vertical y horizontal.

Un canal de televisión en formato NTSC ocupa un ancho de banda de 6 Mhz, la señal de video se transmite en banda lateral vestigial, VSB, con una portadora de video de 1.25 Mhz sobre el límite inferior del canal, la banda lateral inferior es de 0.75 Mhz de ancho y la superior es de 4 Mhz. La portadora de sonido se encuentra a 0.25 Mhz debajo del límite superior del canal, y se transmite en frecuencia modulada con un ancho de banda de 0.25 Mhz.

La información de color se envía en una subportadora a 3.58 Mhz del límite inferior del canal. La fase de esta subportadora es la referencia para la **demodulación de color**, esto se consigue insertando de ocho a diez ciclos de la subportadora al final del pulso de blanqueo.

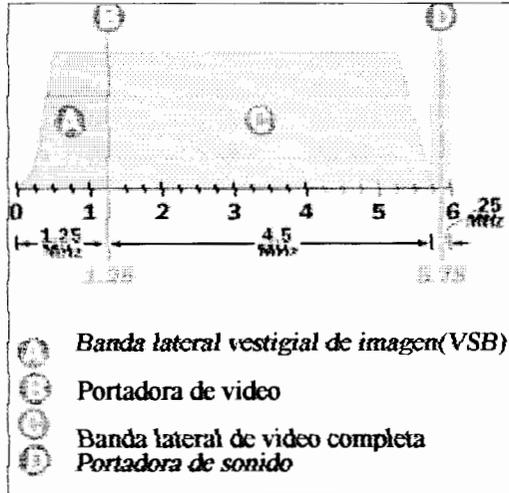


Figura 1.2. Canal de televisión estándar

1.2. LA SEÑAL DE COLOR: LUMINANCIA Y CROMINANCIA, RGB-YUB

Las señales que componen una señal en formato NTSC son la señal de luminancia, las de crominancia, los pulsos de sincronización y los pulsos de blanqueo.

Para la televisión monocromática era necesaria solo la señal de luminancia para generar la imagen, a diferencia de esta la televisión a color genera sus señales mezclando los tres colores primarios: rojo, verde y azul. Una cámara a color recibe la imagen y con ayuda de espejos y prismas ópticos separa la imagen en tres señales

básicas R, G y B¹

1.2.1. LA MATRIZ DE COLOR

Luego de que las señales R, G y B se obtienen estas se combinan en proporciones específicas de este modo:

$$\begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.528 & 0.311 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

Esta es llamada la matriz de color y gracias a ella se generan las señales de video luminancia Y, y las señales de video cromáticas I y Q.

La **señal de luminancia** se forma combinando 30% de la señal R, 59% de la señal G, y 11% de la señal B, matemáticamente se expresa como:

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B$$

La **señal de crominancia** es una combinación de las señales I y Q, estas dos señales se modulan de tal manera que sean ortogonales entre sí para poder formar la señal de crominancia. La señal I se genera combinando 60 % de la señal R, 28 % de la señal G invertida y 32% de la señal de video R. La señal Q se genera combinando 21 % de la señal de video R, 52 % de la señal de video G invertida y 31% de la señal de video B.

Matemáticamente se expresan de esta forma:

$$I = 0.60R - 0.28G - 0.32B$$

$$Q = 0.21R - 0.52G + 0.31B$$

¹ Comunicaciones Electrónicas, Tomasi



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

1.3. DESVENTAJAS DE LA TELEVISIÓN EN FORMATO ANALÓGICO.

El estándar NTSC no es el mejor estándar para la televisión análoga, una de las razones es que las interferencias de radio degradan la imagen y esta pierde su balance de color, de aquí que todos los receptores NTSC necesiten un control para regular el tono o "hue" de la imagen, esto no es necesario en los receptores PAL pues en estos las líneas de cada campo se transmiten con un desfase de 180 grados evitando estos inconvenientes.

1.3.1. RESOLUCIÓN

Esta propiedad nos permite determinar que tan definida esta nuestra imagen, la resolución esta determinada por el número de píxeles en la pantalla. La resolución de una pantalla de televisión es de aproximadamente 512X400 píxeles, de este modo podemos ver que aun el peor monitor de computador con una resolución de 640X480 posee mejor definición que una pantalla de televisión análoga.

1.3.2. ANCHO DE BANDA

En el espectro de la señal de televisión analógica podemos visualizar las portadoras de video (luminancia), audio y crominancia separadas en frecuencia, esta información gracias a la digitalización bien se podría enviar en una portadora digital donde el encabezado de cada frame indique la información transmitida, el ancho de banda de esta portadora digital puede llegar a ser hasta una tercera parte de lo



CIB-ESP



CIB-E

ocupado por la señal analógica gracias a la **compresión**, de este modo podrían caber hasta tres veces más canales que los enviados en formato analógico por un ancho de banda fijo. Para ver más claro el efecto de la compresión consideremos la secuencia de imágenes:

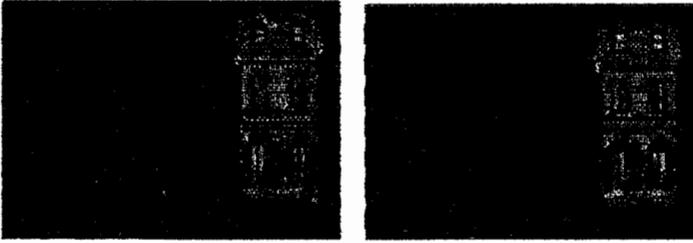


Figura 1.3. Secuencia de imágenes con información redundante

En este caso podemos ver que solo un objeto ha cambiado en el escenario, para una transmisión en formato analógico se requeriría nuevamente el envío de todas las componentes analógicas de imagen y audio para la segunda escena, en cambio en una transmisión en formato digital existe la propiedad de **predicción** gracias a ella la única información que se requerirá enviar para la segunda imagen es el nuevo objeto, y no toda la imagen.

1.3.3. RELACIÓN ALTURA-ANCHO (Aspect Ratio)

Esta relación se obtiene del cociente entre el ancho y el alto de la imagen de televisión (ancho:alto), para el estándar NTSC es de 4:3, en las películas de cine esta relación es de 16:9. El estándar NTSC fue diseñado de acuerdo a la capacidad de los CRT de su época pero actualmente existen tubos de rayos catódicos que pueden mostrar una imagen con resolución 16:9 brindando mayor calidad de imagen.

CAPÍTULO 2: LA TELEVISIÓN DIGITAL

La televisión digital usa como su nombre indica modulación digital para transmitir señales de audio y video a equipos de televisión, las señales digitales ofrecen mayor resistencia a los errores además con los respectivos algoritmos estas señales se pueden comprimir permitiendo así la transmisión de más de un canal de televisión digital en el mismo ancho de banda de un canal analógico, para la compresión de la señal de video se usa MPEG-2 el cual se basa en algoritmos predictivos que permiten ajustar la tasa de transmisión, en este capítulo se vera como MPEG-2 logra esto.

Los estándares de televisión digital permiten presentar la imagen en diferentes formatos:

FORMATO	RESOLUCIÓN (píxeles)	CUADROS/SEG
480 i	704 X 480	60 entrelazado
480 p	704 X 480	60 progresivo
720 p	1208 X 720	⇒ 60 progresivo
1080 i	1920 X 1080	60 entrelazado
1080 p	1920 X 1080	60 progresivo

Tabla 1.1. Formatos permitidos en la televisión digital

En el modo **progresivo** la imagen se refresca cada 1/60 de segundo a diferencia del modo **entrelazado** donde la imagen se envía en cuadros pares e impares, que juntos

envían la imagen completa cada $1/30$ de segundo.

Los primeros dos formatos son llamados **de definición estándar SD**, cuando se transmite un show de televisión analógico se lo convierte a este formato y de este modo se puede transmitir a estaciones de televisión digitales.

Los últimos tres son formatos **de alta definición HD**, los sistemas HDTV reciben o transmiten en estos formatos su señal digital de televisión.

2.1. EL MERCADO DE LA TELEVISIÓN DIGITAL

2.1.1. LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE

Esta forma de transmisión pretende convertir las transmisiones de televisión que actualmente se propagan de forma inalámbrica al formato digital, el objetivo de esto es liberar espectro gracias a la compresión MPEG-2, el espectro liberado se puede utilizar para aumentar el número de canales de difusión de televisión local, pagada, incluso para la transmisión de nuevos servicios como DAB, Internet inalámbrico, etc. Este cambio permitiría a las estaciones de televisión ahorrar potencia de transmisión debido a que una señal digital comprimida en formato MPEG-2 requiere 10 dB menos de relación señal a ruido que una señal AM-VSB.

2.1.2. TELEVISIÓN DIGITAL SATELITAL

En las transmisiones satelitales se ha demostrado que la digitalización permite el multiplexado de un amplio número de canales en el mismo ancho de banda. Los

transmisores están ubicados en satélites con órbitas geoestacionarias, y la transmisión se realiza usualmente en banda Ku, el inconveniente de esto es que las frecuencias en esta banda presentan una gran atenuación por las lluvias y en un país tropical con lluvias como el nuestro esto afectaría la calidad de la señal recibida.

2.1.3. TELEVISIÓN DIGITAL POR CABLE

Gracias a la compresión de video el operador de un sistema de televisión digital por cable puede ofrecer más canales de los que puede brindar un operador de cable analógico, para esto se requiere un decodificador digital en casa del usuario. A más de esto se proporcionan servicios adicionales como una guía electrónica de programas y la habilidad de adquirir programación PPV directamente desde la televisión sin necesidad de acceder a la línea telefónica, la cual era usada para adquirir el servicio de “pague por ver” mediante el marcado de un número telefónico definido por el operador y la respectiva facturación por el servicio.

2.1.3.1. VENTAJAS DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DIGITAL DE VIDEO POR CABLE

Las razones por las cuales el modo de transmisión por cable es el más adecuado para la implementación de la televisión digital en nuestro país radican en las desventajas que presentan los modos de transmisión terrestre y satelital.

La implementación de un sistema de televisión digital terrestre requiere la ubicación de antenas de transmisión que permitan una cobertura para un mercado determinado,

en lo que se refiere a nuestra situación nacional la puesta a cabo de este servicio requiere que los usuarios adquieran televisores de alta definición (HDTV) los cuales sobrepasan los 1000 dólares, otra alternativa a la adquisición de este equipo sería la ubicación de un receptor a nivel del usuario, esto solo puede llevarse a cabo en un sistema de difusión de televisión pagada, y esto representa una gran inversión en nuestro país ya que según la Superintendencia de Telecomunicaciones mas del 46% de este servicio lo cubre la empresa TV CABLE.

SUSCRIPTORES DE TELEVISION PAGADA

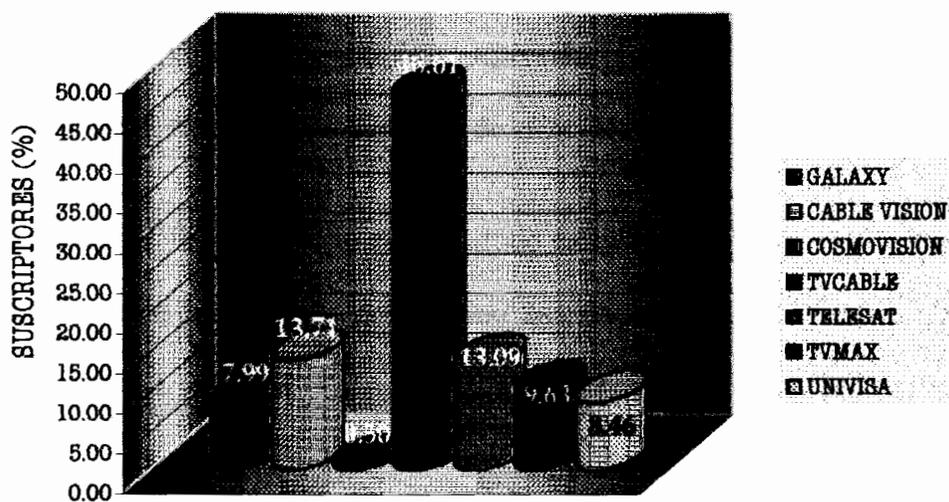


Figura 2.1. Porcentaje de suscriptores del servicio de televisión pagada (SUPTTEL 2003)

Otra ventaja es que la señal por cable no esta sujeta a interferencias debido a que sus ondas se transmiten por una red híbrida de fibra y coaxial.

Del mismo modo un sistema de televisión digital satelital requiere la adquisición de

una pequeña antena parabólica por parte del usuario, además el acceso a los servicios de PPV o VOD requieren la negociación de un canal de subida desde el HE al satélite y esto requiere una gran inversión, cabe considerar que la cobertura de los sistemas de difusión satelital es a nivel nacional, para una cobertura local se requiere un sistema terrestre.

2.2. MPEG

Las señales digitales poseen mayor inmunidad al ruido a diferencia de las analógicas pero este no sería un punto muy importante a considerar en un medio guiado como lo es una red HFC, el punto fuerte de la digitalización de las señales de video Para este tipo de red radica en el alto grado de **compresión** que se puede alcanzar y esto no sería posible sin el estándar de compresión de video MPEG.

El Moving Picture Experts Group es un método estándar para la transmisión de video y audio digital en un formato comprimido usando un ancho de banda menor al método analógico tradicional.

El primer estándar introducido por MPEG fue MPEG-1 se lo usa para comprimir películas en discos compactos regulares (VCD). MPEG-1 utiliza una baja tasa de bits dando como resultado una imagen de calidad similar a la brindada por un VHS, el flujo de datos MPEG-1 soporta solamente una señal de video por este motivo no se lo utiliza para transmisiones satelitales. MPEG-1 permite la codificación de video en formato progresivo.

MPEG-2 (ISO 13818-1) es el estándar usado en el mundo de la televisión. MPEG-2 soluciona los problemas que brindaba MPEG-1 en los aspectos de resolución, escalabilidad y manejo de video entrelazado. Brinda una mejor calidad de imagen y permite que múltiples canales a diferentes tasas de transmisión sean multiplexados en un simple flujo de datos. Esta última característica lo convierte en el estándar más adecuado para la distribución de video de forma satelital y terrestre.

MPEG-2 soporta tasas de datos para transmisiones de alta definición de 15 a 30 Mbps. El alto grado de compresión que MPEG-2 brinda a los datos se puede apreciar mejor si se conoce el proceso de digitalización de video el cual consiste primero en el muestreo de la señal luminancia a 13,5 Mhz y las dos señales de color a 6.25 Mhz, luego se asigna a cada muestra 10 bits obteniéndose una velocidad de 270 Mbps. Es decir con MPEG-2 se puede comprimir hasta en un 6% la transmisión de video en formato digital.

2.2.1. MPEG-2: PROCESO DE CODIFICACIÓN DEL VIDEO

En las transmisiones de video analógico existe una alta redundancia de información, para entender como MPEG-2 puede comprimir una señal de video debemos entender los principales casos de redundancia:

- Redundancia Espacial y Temporal. _se basa en el hecho de que algunos píxeles de la imagen se correlacionan con otros ya sean del mismo frame o de otro frame.
- Redundancia de Entropía. _Cuando un mismo tipo de información se repite se podría optimizar su codificación asignándole poco código a la información que

más se repite y más código a la que rara vez lo hace.

- Redundancia Psico-visual. Así como en el audio existe un límite de frecuencias fuera del cual nuestro oído no percibe sonido alguno del mismo modo nuestro ojo y nuestro cerebro tienen límites para las imágenes que ellos pueden acceder, estos límites son la resolución máxima que el ojo puede percibir y la resolución que el ojo detecta cuando existen cambios bruscos de imagen.

A continuación veremos los procesos por los cuales la señal de video debe pasar para lograr eliminar los tres tipos de redundancia, y de este modo lograr una considerable reducción en la tasa de bits.

2.2.1.1. MUESTREO DE LA SEÑAL DE VIDEO

Para lograr la conversión del video, primero se hace un muestreo de las componentes de la señal analógica: Y, I y Q. MPEG-2 utiliza diferentes formatos para el muestreo de las señales de luminancia y crominancia de la señal analógica. Estos formatos son:

4:2:0 Indica que la resolución de la señal de color es la cuarta parte de la resolución de la información de video, con este formato se puede transmitir la señal de luminancia Y, y solo una de las dos señales de crominancia (I o Q).

4:2:2 Es usada para transmitir imágenes de alta calidad, se envían las dos componentes de la señal crominancia muestreadas a la mitad de la frecuencia de la señal de luminancia. Al aumentar la otra señal de crominancia la calidad de la imagen es mejor en comparación al formato anterior. Pero del mismo modo al aumentar la

otra señal de color se requiere una mayor tasa de transmisión.

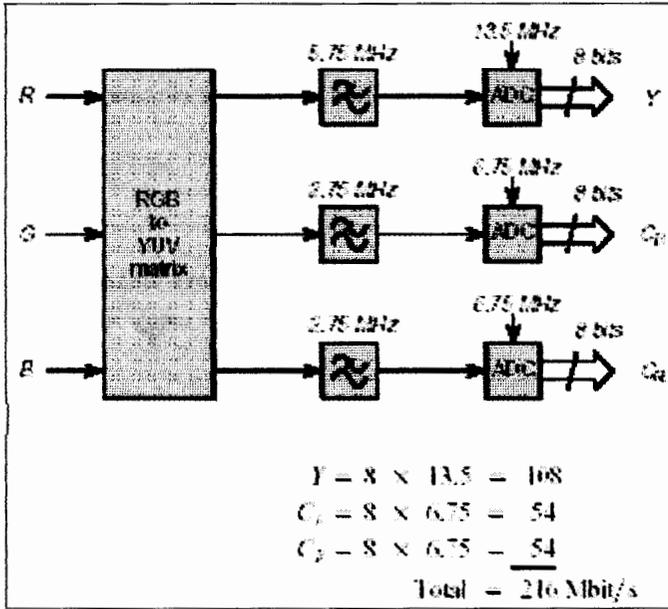


Figura 2.2. Muestreo de la señal de video con formato 4:2:2



4:4:4 Transmite las dos señales de crominancia y la de luminancia a la misma tasa de muestreo. Esto brinda una calidad de imagen de alta definición. Pero al momento solo MPEG-4 soporta este formato.

La siguiente tabla muestra la frecuencia de muestreo de cada una de las señales Y, I y Q y la velocidad de transmisión que se obtendría si se asignaran de 8 bits por muestra (video no comprimido):

Frec. de muestreo [Mhz]	4:2:0	4:2:2	4:4:4
Y	13.50	13.50	13.50
I	6.75	6.75	13.50
Q	0	6.75	13.50
Velocidad de Tx [Mbps]	162.5	216	324

Tabla 2.2. Velocidad de transmisión según el formato de muestreo



Para aminorar la redundancia Psico-visual y por su menor tasa de transmisión el formato 4:2:0 es el formato elegido para la transmisión de televisión digital, ya que se considera que el ojo humano percibe con más detalle la imagen (luminancia) que el color.

2.2.1.2. TRANSFORMADA DISCRETA COSENO

Luego de haber muestreado y digitalizado la señal de video (8 bits por muestra) esta información se agrupa en una matriz de 8X8 píxeles, cada píxel indica un punto en la pantalla. La transformada se aplica sobre la matriz imagen basándose en un conjunto de 64 funciones llamadas “funciones básicas” y crea una nueva matriz que representara la imagen en base a la suma de pesos de las funciones básicas.

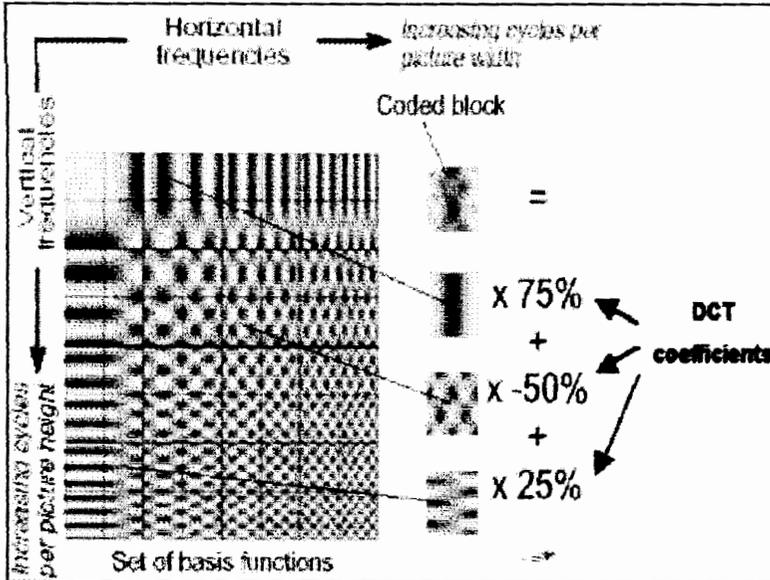


Figura 2.3. Coeficientes de la Transformada Discreta Coseno

Cada uno de los coeficientes de la matriz DCT posee una longitud de más de 11 bits, esto es una longitud mayor a la de los bits de la matriz imagen. Esta deficiencia se

compensa en el hecho de que con solo 3 coeficientes se puede reconstruir el bloque de imagen. La Transformada Discreta Coseno tiene la propiedad de aplicar un mayor peso a las funciones básicas de baja frecuencia de este modo se elimina información que el ojo humano no es capaz de apreciar.

Luego de poseer la matriz con los coeficientes DCT se procede a **cuantizar** la información esto se hace primero dividiendo los coeficientes por una matriz que refleja la cantidad de ruido que el ojo humano puede percibir a determinadas frecuencias esta matriz viene dada por el estándar MPEG-2:

8	16	19	22	25	27	29	34
16	16	22	24	27	29	34	37
19	22	26	27	29	34	34	38
22	22	26	27	29	34	37	40
22	26	27	29	32	35	40	48
26	27	29	32	35	40	48	58
26	27	29	34	38	45	55	69
27	29	35	39	45	55	69	82

Figura 2.4. Matriz de pesos

A los coeficientes de la matriz resultante de esta división, se los cuantiza para reducir el numero de niveles de salida.

Con el muestreo de la señal analógica, la consecuente aplicación de la transformada sobre la señal digitalizada y la cuantización de los coeficientes de la matriz MPEG-2 se logra eliminar información psico-visual redundante, es decir información que el ojo humano no puede apreciar y por ende no es necesaria su transmisión.

La matriz resultante de la cuantización poseerá la mayor concentración de coeficientes en la esquina superior izquierda (bajas frecuencias) y como el siguiente proceso es el envío de la información en forma serial se realiza un escaneo, este se realiza en forma de zig-zag para obtener un flujo de coeficientes no nulos seguidos por una secuencia de ceros.

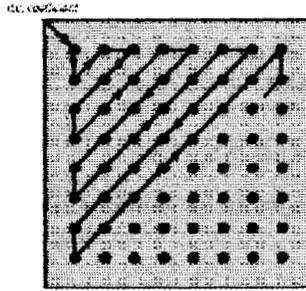


Figura 2.5. Exploración de la información en forma de zig-zag

2.2.1.3. CODIFICACIÓN

Luego de escanear la información, al flujo de bits seriales se le aplica el Código de Longitud Variable (VLC) el cual usa palabras de código cortas para los valores mas frecuentes, del mismo modo que el código Morse. Luego de este proceso se tendrá una larga secuencia de ceros por este motivo se someten los bits a la Codificación de Administración de Longitud (RLC) el cual envía una palabra de código en lugar de una larga secuencia de ceros.

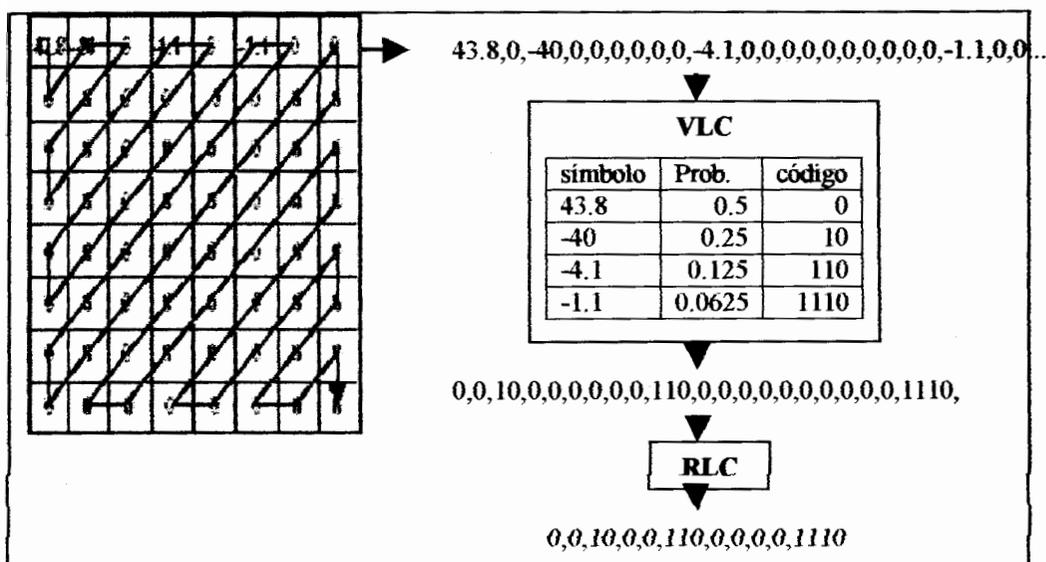


Figura 2.6. Codificación de la información

El flujo final de bits es de tasa variable. Con el proceso de codificación MPEG-2 se reduce la redundancia de entropía ya que a aquella información que se repite con mayor frecuencia (secuencia de ceros) se le asigna un código mas corto en comparación a aquella información que se repite menos.

Para medios de transmisión de tasa constante se utilizan técnicas de buffering y se interactúa con los intervalos del cuantizador.

2.2.1.4. PREDICCIÓN

Para reducir la redundancia Espacial y Temporal MPEG-2 realiza los procesos de predicción los cuales pueden ser de tres tipos:

Interframe prediction. Este modo de predicción permite a MPEG explotar la característica de las imágenes de casi no presentar cambios entre un frame y otro

adyacente. Para esto el codificador necesita un decodificador local para comparar el frame de salida con el de entrada y no enviar todo el frame de entrada sino más bien solo las diferencias que existen entre ellos. Esta predicción es usada para regiones de la imagen con poco movimiento.

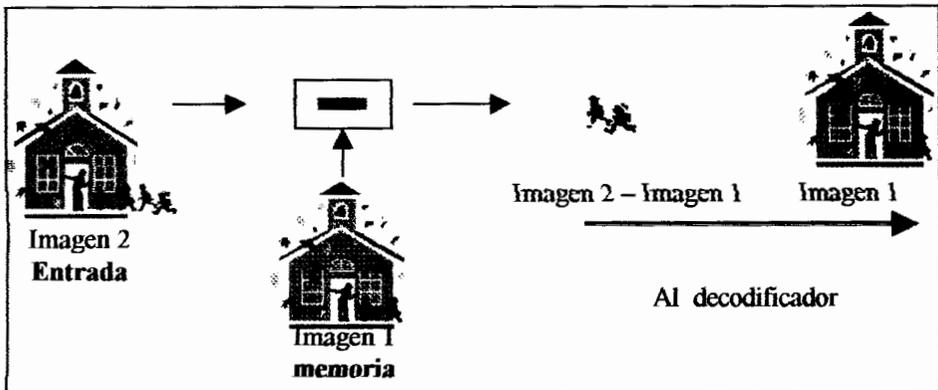


Figura 2.7. Predicción Interframe

Motion-compensated interframe prediction. Para esta predicción el codificador compara una imagen recientemente procesada con una nueva y busca si existen regiones en la imagen que han cambiado su posición, esta búsqueda se realiza tomando muestras de 16X16 píxeles llamadas **macrobloque**.

El codificador toma un macrobloque de la imagen de salida y otro con la misma ubicación espacial en la imagen de entrada, con este último como referencia, el codificador busca si en la imagen de salida existe algún macrobloque que sea igual al de referencia. El área de búsqueda está delimitada por los macrobloques adyacentes al macrobloque de la imagen de salida.

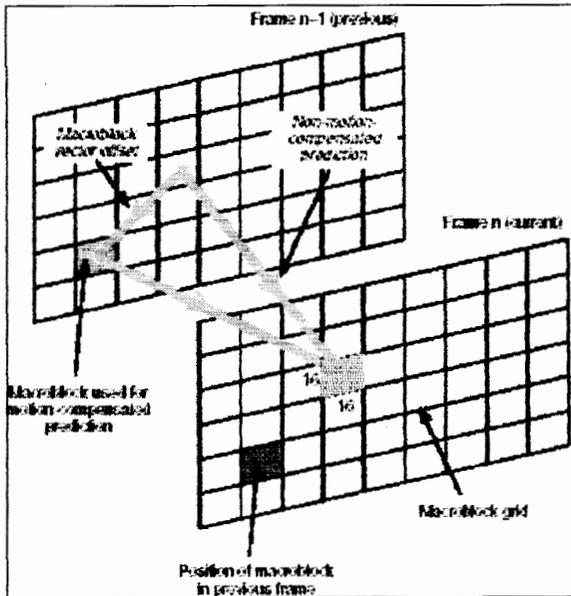


Figura 2.8. Predicción Interframe con compensación de movimiento

Si en la imagen de salida se encuentra un macrobloque igual al de referencia, el codificador envía un vector de movimiento junto con la ubicación del macrobloque en la imagen de salida al decodificador.

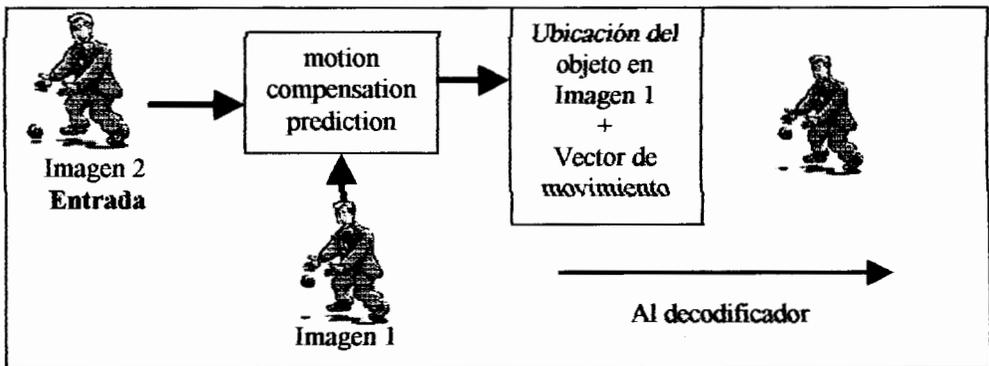


Figura 2.9. Motion compensation prediction

Bidirectional Prediction. Esta predicción se basa en el frame anterior y el que se recibirá posteriormente y forma sobre la base de ello su propio frame, el

inconveniente de este proceso es que conlleva un retardo mayor que los otros dos.

2.2.1.4.1. TIPOS DE IMÁGENES:

De acuerdo al tipo de predicción que se realice sobre los macrobloques de la imagen estas podrán ser de tipo I, P o B:

Imágenes tipo “I” (intra-pictures). _Estos cuadros no realizan ningún tipo de predicción con cuadros anteriores ni futuros, de este modo solo realiza una compresión basándose en la redundancia espacial y no en la temporal. Estos cuadros sirven como punto de referencia para la predicción de otras imágenes.

Imágenes tipo “P” (predictive). _Utilizan motion-compensated prediction sobre la base de una imagen tipo I o otra tipo P, alcanza una mayor compresión que las imágenes tipo I ya que realiza una compresión tanto en lo espacial como en lo temporal.

Imágenes tipo “B” (bidirectional). _Utilizan predicción bidireccional, ofrecen el mayor grado de compresión pero del mismo modo un mayor retardo.

2.2.1.5. GOP (group of pictures)

Se refiere a la secuencia del envío de imágenes I, P y \overleftrightarrow{B} se describe con los siguientes parámetros:

N= número de elementos en el GOP

M= espaciado entre cuadros P

El diagrama de bloques de un codificador MPEG-2 se muestra a continuación:

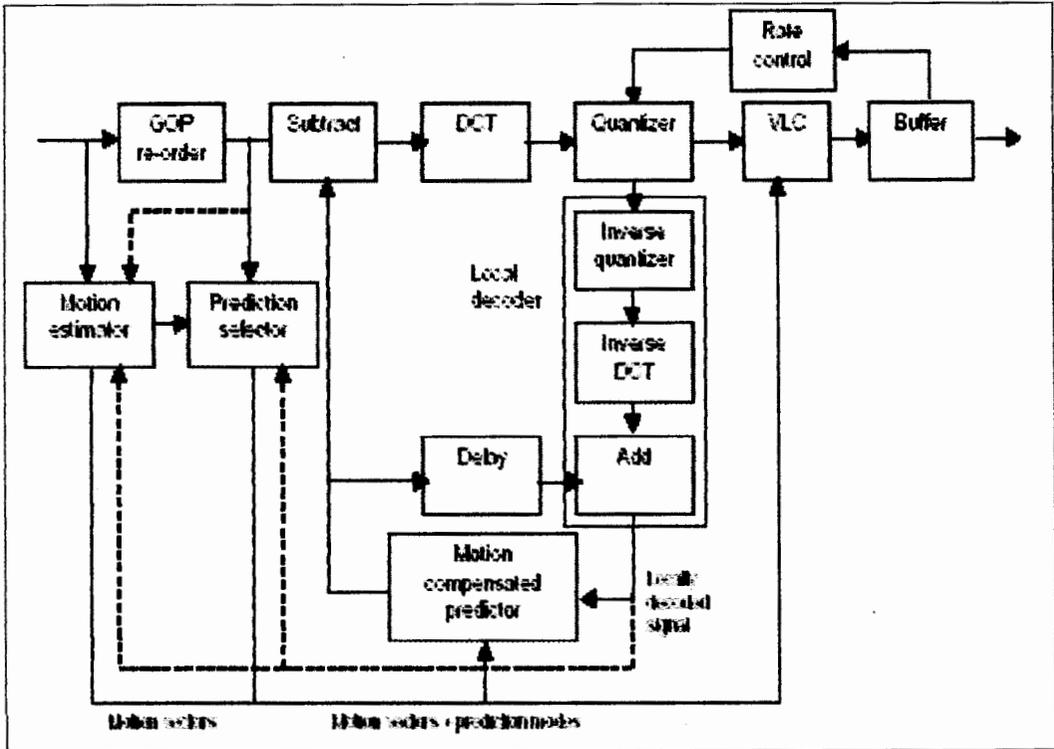


Figura 2.10. Diagrama de bloques de un codificador MPEG-2

2.2.2. FORMATO DE LOS DATOS A LA SALIDA DEL CODIFICADOR MPEG-2

El flujo de datos a la salida de un codificador MPEG-2 se llama ELEMENTARY STREAM, ES. Para entender como el decodificador procesa estos ES, es necesario explicar el formato de la información a la salida de un codificador MPEG-2.

Macrobloque. Este es el componente mas pequeño de información contiene los componentes necesarios para formar una imagen de 16X16 píxeles. Su encabezado esta compuesto por:

Dirección espacial. _En este campo se indica la ubicación del macrobloque en la pantalla.

Tipo de predicción. _Aquí se indica el tipo de predicción usada en el macrobloque: Interframe, Motion-compensated o Bidirectional.

Escala Q. _Este campo envía información al decodificador para que ajuste los intervalos del cuantizador en relación con la nitidez de la imagen.

Vectores de movimiento. _Este campo es utilizado si se realiza predicción del tipo motion-compensated, indica el desplazamiento del macrobloque en la imagen siguiente.

Modo de transmisión de los bloques. _Le indica al decodificador si la transmisión es en formato entrelazado o progresivo.

Slice. _Con este nombre se designa la agrupación de macrobloques de acuerdo a la predicción que se realiza en ellos.

Imagen. Es un conjunto de Slices, en su encabezado se encuentran los siguientes campos

Código de Inicio. _Este campo es usado para sincronización.

Tipo de imagen. _Es usado para transmisiones en formato entrelazado y se indica si la imagen pertenece a un campo par o impar.

Tipo de codificación._ Aquí se indica si en la imagen se ha realizado predicción de tipo “I”, “P” o “B”

Matriz de pesos de cuantización._En este campo se envía la matriz de pesos que sirve para aplicar la transformada inversa coseno.

GOP._El conjunto de imágenes se agrupa en el Group of Pictures y como se indico antes el formato de este indica la secuencia de imágenes tipo “I”, “P” o “B”.

Secuencia._Este es llamado *Elementary Stream (ES)*, es la forma mas general de los datos de salida del codificador, en su encabezado se encuentran indicadores de capa fisica como son: Ancho y alto de Imagen, Aspect ratio, Tasa de bits y Tasa de imagen. Su payload esta compuesto por un conjunto de GOPs.

A continuación se muestra un diagrama explicando la formación del Elementary Stream:

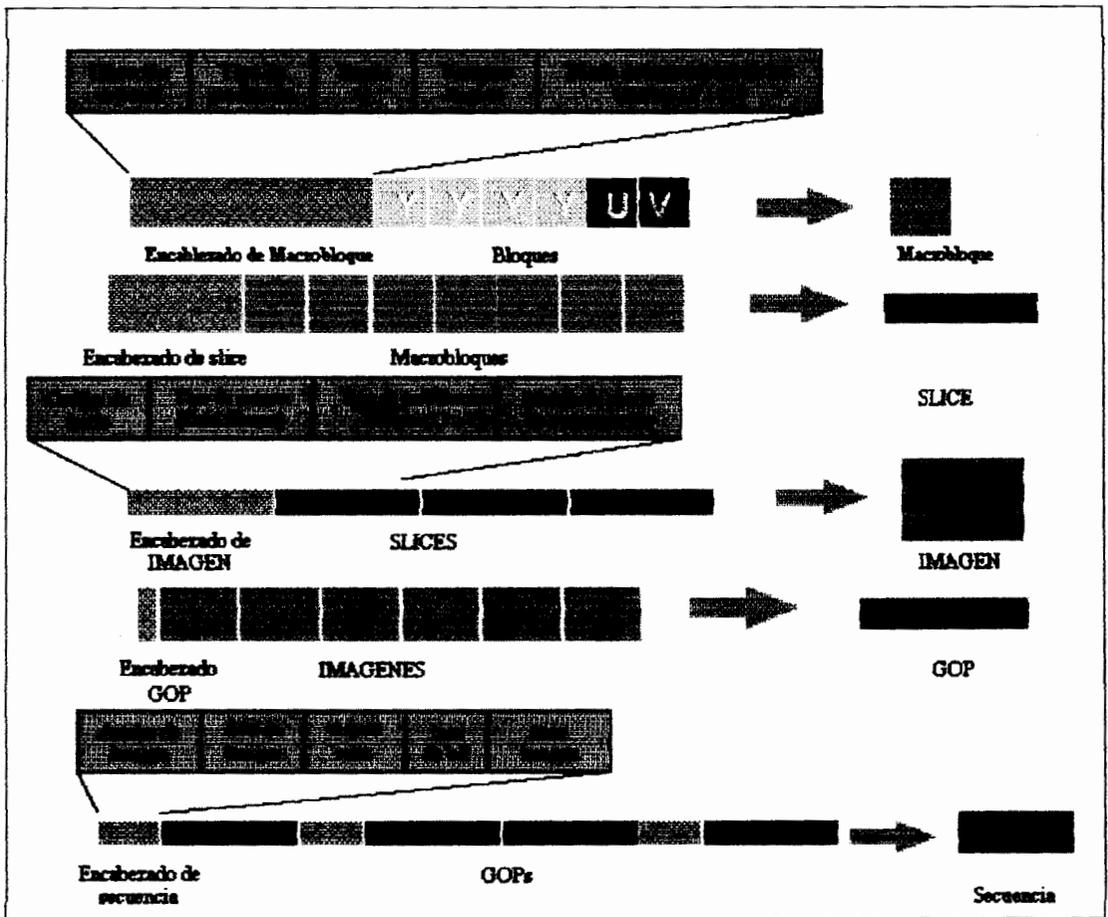


Figura 2.11. Secuencia de formación de un ES

La longitud del ES no es fija y depende de las predicciones que se han realizado sobre sus imágenes, es decir se tendrá un ES de mayor longitud si se realiza predicción interframe que si se realizara predicción motion-compensated, ya que en este ultimo, en lugar de enviar toda una imagen, se envía solo un vector desplazamiento y las coordenadas de ubicación del macrobloque de la imagen previa.

2.2.3. MPEG-2: PROCESO DE CODIFICACIÓN DEL AUDIO

La compresión del audio en MPEG se basa en la característica que presenta el oído humano cuando esta ante la presencia de diversos tonos en diferentes amplitudes y

uno de estos tiene una amplitud relativamente alta entonces se produce el enmascaramiento de la señal percibida y solo se detecta el tono de mayor amplitud. MPEG explota esta propiedad del oído humano y comprime el audio enviando solamente aquellos tonos que poseen una amplitud apreciable para el oído.

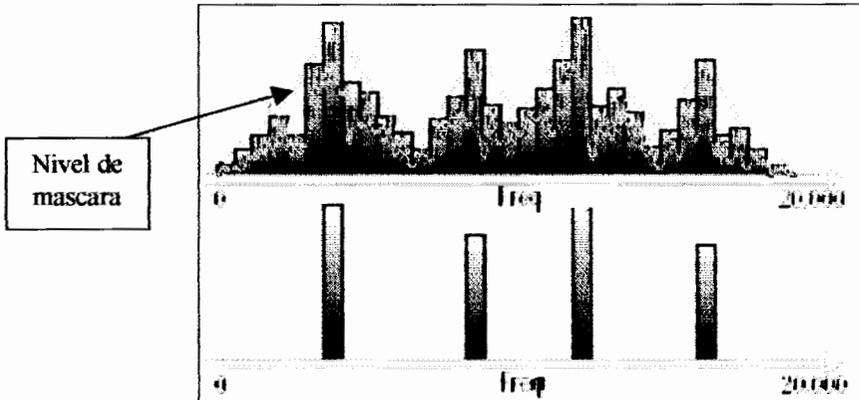


Figura 2.12. Enmascaramiento de la señal de audio

Para una señal de audio como la del dibujo superior se puede observar que aquellas señales que estén por debajo del nivel de mascara no serán transmitidas.

Con la codificación de audio MPEG-2 se logra una transmisión multicanal de audio ideal para sistemas de videoconferencia. Las transmisiones multicanal proporcionan además canales multilingües y canales especiales para personas con incapacidad visual y auditiva.

Con la codificación de audio, MPEG-2 puede soportar hasta 5 canales de audio: izquierda, derecha, central, izquierda surround, derecha surround.

El diagrama de bloques de un codificador de audio MPEG-2 se muestra a continuación

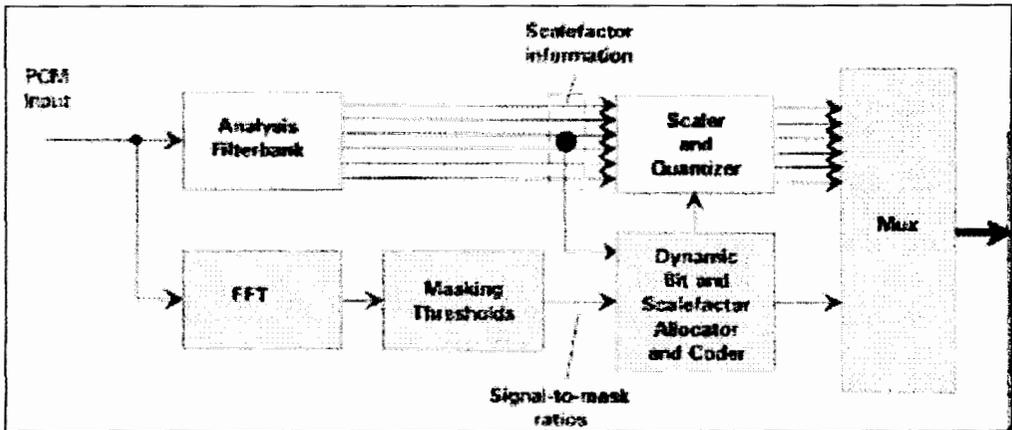


Figura 2.13. Diagrama de bloques de un codificador de audio MPEG-2

EL estándar MPEG-2 especifica como señal de entrada al encoder una señal PCM muestreada a 48 KHz, y con una longitud de 16 bits por muestra.

Analysis Filterbank. La señal PCM se divide en subbandas espectrales a través de un banco de 12 filtros, en cada banco se toman 32 muestras. En total se tendrá a la salida del banco de filtros 384 muestras de audio.

Scaler and Quantizer. En este bloque se cuantizan las muestras de audio para reducir los niveles de salida, los niveles de cuantización no son fijos y se ajustan con un factor de escala.

Dynamic Bit and Scalefactor allocator and Coder. En este bloque se asigna el factor de escala y por medio de un Algoritmo de Asignación de Bits se determina el número de bits que se deben usar para la cuantización de las muestras.

Masking threshold. En este bloque se calcula la relación de la señal al nivel de máscara y este dato permite que el bloque de Asignación de Bits envíe el factor de

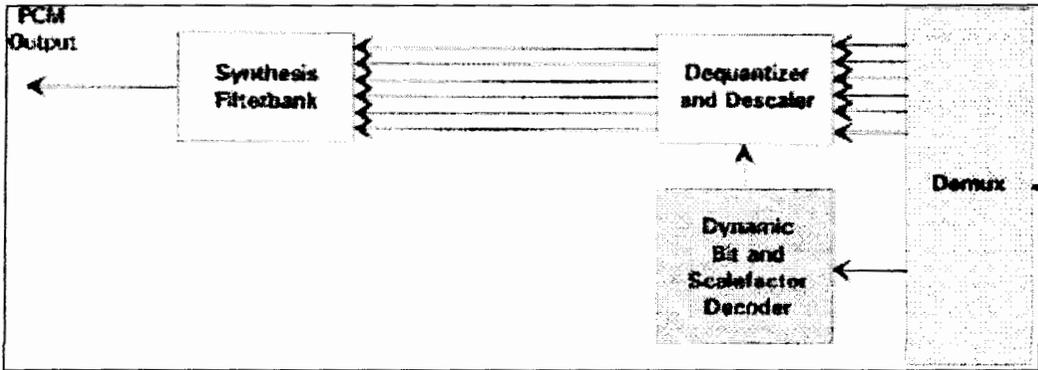


Figura 2.15. Decodificador de audio MPEG-2

2.2.4. EL FLUJO DE TRANSPORTE (TS)

Una vez que se ha codificado el audio y el video se multiplexan estos datos y se le añade información de tiempo para que los datos de audio se sincronicen con el video, al flujo de datos multiplexados audio+video+tiempo se le denomina Flujo Paquetizado Elemental (Packet Elementary Stream), PES, la característica de estos frames es que su longitud no es fija ya que como vimos los frames de audio y video no lo son pues dependen de la redundancia de la información a codificar.

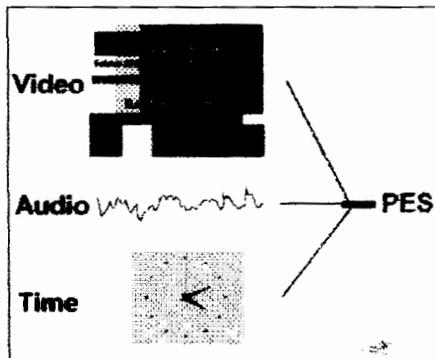


Figura 2.16. Conformación del PES

El problema que se presenta al trabajar con PES es que la longitud variable de sus paquetes dificulta la operación del decodificador al momento de detectar el inicio y

fin del paquete, por este motivo a los PES se los somete a otro proceso de multiplexado en el cual se forman los **Transport Stream**, estos pueden contener mas de un PES en su payload y se caracterizan por su longitud fija de 188Bytes. El formato de un TS se muestra a continuación:

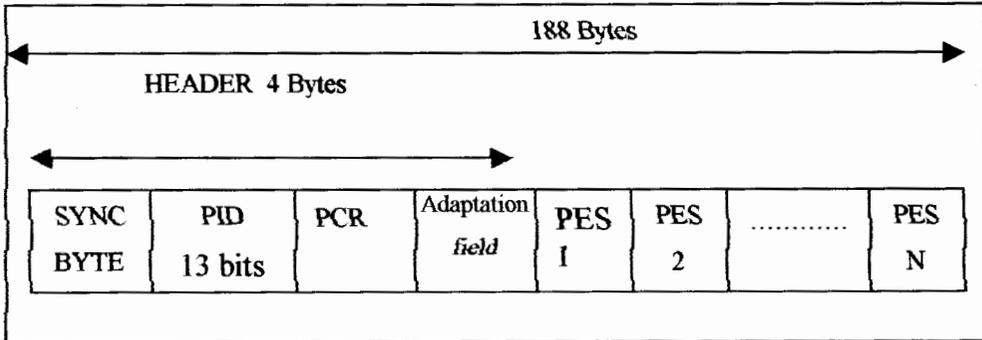


Figura 2.17. MPEG-2 Transport Stream

Encabezado. El Encabezado tiene una longitud de 4 Bytes y lo componen los siguientes campos:

Sync Byte. En este campo ira una secuencia de bits que permiten la sincronización del TS, esta secuencia es 47h.

PID. Este campo de 13 bits llamado Identificador de paquete (PID) contiene información requerida para identificar, encontrar y formar los programas. Los PID identifican el tipo de información que se lleva en el payload. Dependiendo del código del PID el decodificador sabrá si lo que esta contenido en el payload corresponde a un flujo multiplexado de PES o a la **Información Especifica del Programa (PSI)**. Si el PID corresponde a un TS con la Información especifica del Programa, el decodificador generara un

conjunto de tablas que le ayudaran a identificar los programas que esta recibiendo. Mas adelante hablare de estas tablas.

PCR. La información contenida en este campo permite recuperar el reloj y es usada con motivos de sincronización

Adaptation field. Este campo esta asignado para control y corrección de errores, indicadores de la longitud de los PES, etc.

PES 1....PES N. Este campo de 184 Bytes llevara información sobre el audio y video o la información del sistema. Su contenido será procesado por el decodificador de acuerdo al indicador PID.

2.2.4.1. INFORMACIÓN ESPECÍFICA DEL PROGRAMA (PSI)

Esta información le permite al decodificador generar las tablas de Información del Sistema (SI), en estas tablas estará información relacionada al numero de programas transmitidos por TS, acceso condicionado a determinados servicios, entre otros. Los PSI estarán contenidos en el payload del TS y el decodificador los identificara basándose en su numero PID. En el primer TS que reciba el decodificador debe estar asignado el PID 0, el decodificador sabrá que lo que se esta recibiendo es la Tabla de Asociación de Programas, y tomando esta tabla como base procede a identificar los demás TS y generar las subsecuentes tablas de Información del Sistema.

LA TABLA DE ASOCIACIÓN DE PROGRAMAS (PAT). Si el PID es cero entonces en el TS estará contenida la tabla de asociación de programas PAT, en ella se incluirán el PMT asociado a cada programa con sus respectivos PID para que el decodificador pueda identificarlos.

- LA TABLA DE MAPEADO DE PROGRAMAS (PMT). _ Existe un PMT por cada programa a transmitirse los Transport Streams con este PID incluyen en su payload los PID de los servicios que se transmiten por ejemplo PID=3 para audio, PID 4 para video, PID 5 para datos, etc.
- LA TABLA DE INFORMACIÓN DE RED (NIT). _ Con un valor PID de 10 esta tabla envía información concerniente a la capa física (frec. a la que se transmiten diferentes programas).
- LA TABLA DE ACCESO CONDICIONAL (CAT). _ envía información sobre encriptado y control de acceso a determinados programas, la implementación de este último no es una especificación MPEG-2.

2.2.5. PERFILES Y NIVELES DE MPEG-2

La especificación MPEG-2 cubre un amplio número de aplicaciones entre ellas están la videoconferencia, videotelefonía y la televisión digital. Para cada aplicación existen limitantes dados por la tasa bits, resolución, y tamaño de imagen. Para asociar estos factores limitantes con el tipo de servicio que se quiere entregar MPEG-2 introduce los conceptos de *perfiles y niveles*.



CIB-ESP



CIB-



CIB-I

Los perfiles indican grados de complejidad en lo que se refiere a las herramientas de compresión utilizadas, el perfil simple indica que no se utilizaran frames tipo B.

Los niveles le indican al codificador el tamaño de la imagen, bit rate, y resolución. El nivel más bajo de MPEG-2 se refiere al tipo de resolución obtenida con MPEG-1, y así va subiendo de formato SDTV a HDTV en el nivel más alto.

La Tabla que se indica a continuación indica las combinaciones de perfiles y niveles definidas por MPEG-2:

High		Δ			Δ
High-1440		Δ		Δ	Δ
Main	Δ	Δ	Δ		Δ
Low		Δ	Δ		
Level/Profile	Simple	Main	SNR	Spatial	High

Tabla 2.3. Perfiles y niveles de MPEG-2

Simple profile @ main level. (SP@ML)

No se realiza predicción by direccional

Formato de muestreo 4:2:

Máxima tasa de bits: 15Mbps

Bajo retardo

Bajo nivel de compresión.

MainProfile@HighLevel: MP@HL

Realiza predicción bidireccional

Formato de muestreo 4:2:0

Máxima tasa de bits 80Mbps

Permite la codificación de HDTV 1920X1152

MainProfile@High1440level: MP@H-14

Realiza predicción bidireccional

Formato de muestreo 4:2:0

Máxima tasa de bits 60Mbps

Permite la codificación de HDTV 1440X1152

MainProfile@lowlevel: MP@LL

Realiza predicción bidireccional

Formato de muestreo 4:2:0

Máxima tasa de bits 4Mbps

Permite una resolución de 352X288

SNRProfile@Mainlevel: SNR@ML

Realiza predicción bidireccional

Formato de muestreo 4:2:0

Máxima tasa de bits 15Mbps

Posee las características del MP@ML mas una capa mas que le da mayor inmunidad al ruido

SpatialProfile@High1440level: Spatial@LL

Realiza predicción bidireccional

Formato de muestreo 4:2:0

Máxima tasa de bits 60Mbps

Permite codificar televisión en formato HDTV a formato estándar.

HighProfile@Highlevel: HP@HL

Realiza predicción bidireccional

Formato de muestreo 4:2:0 y 4:2:2

Máxima tasa de bits 100Mbps

Permite decodificar cualquiera de las otras combinaciones de perfil y nivel.

HighProfile@High1440level: HP@H-14

Realiza predicción bidireccional

Formato de muestreo 4:2:0 y 4:2:2

Máxima tasa de bits 80Mbps

HighProfile@Highlevel: HP@HL

Realiza predicción bidireccional

Formato de muestreo 4:2:0 y 4:2:2

Máxima tasa de bits 20Mbps

2.2.5.1. MAIN PROFILE @ MAIN LEVEL

La combinación de perfil y nivel recomendada para la transmisión de señales de televisión (de acuerdo al formato ITU-R 601) es **MainProfile@MainLevel**, su característica más importante sobre las otras posibilidades de MPEG-2 es su tasa de

bits de máximo 15Mbps con una gran calidad de imagen, entre sus características están:

- Utiliza predicción bidireccional (B frames)
- formato de crominancia: 4:2:0
- Máxima tasa de bits: 15Mbps
- Densidad de muestreo: 720 muestras / línea, 576 líneas por frame, 30 frames/seg

Con una codificación MP@ML se pueden obtener las siguientes calidades de imagen a determinadas tasas de bit:

Tasa de bits (codificación IBP)	Calidad de imagen
2 Mbps	similar a VHS
4 Mbps	Calidad PAL / NTSC
10 Mbps	Calidad DVD
15 Mbps	Calidad DV

Tabla 2.4. Calidad de imagen a diferentes tasas de bits

2.2.6. INTERFACES PARA TRANSPORTE DE MPEG-2 TS

Existen un gran número de interfaces para mover MPEG-2 TS (en banda base) entre diferentes equipos en una red local, las más importantes son: SMPTE 305M y DVB-ASI

DVB-ASI	Transmisión asíncrona Serial Dist Máx: 91.44mt Reloj: 270 Mhz Capacidad de datos MPEG-2: 214 Mbps Codificación de capa física: 8B/10B Tipo de cable: coaxial 75ohm o fibra multimodo Longitud de los paquetes: 188-204 bytes
----------------	---

Figura 2.18. Propiedades de la interfase DVB-ASI

SMPTE 305M (SDTI)	Transmisión asincrónica Serial Dist Máx: 300mts Reloj: 270 & 360 MHz Capacidad de datos MPEG-2: 200-225 & 270-300 Mbps Codificación de capa física: SMPTE 259 (SDI) Tipo de cable: coaxial 75ohm & FO
------------------------------	--

Figura 2.19. Propiedades de la interfase SMPTE 305M



La interfaz SMPTE 305M no es una interfaz MPEG-2 en banda base propiamente dicha ya que esta usa una codificación superior a la de capa física, esto requeriría mayor procesamiento en el proceso de multiplexado y por ende un mayor costo del equipo, a más de esto la interfaz SDTI transmite *component video* siendo incompatible con el estándar NTSC, por esta razón la interfaz DVB-ASI es la más usada en el mercado americano ya que esta transmite los bits con codificación de capa física facilitando los futuros procesamientos de la señal. Otras interfaces como DHEI y SWIF no son tan populares debido a su corto alcance (menos de 5 metros) y su baja frecuencia de reloj.



2.3.VENTAJAS DE LA SEÑAL DIGITAL DE TELEVISIÓN SOBRE LA ANALÓGICA.

Las características de *imagen* y *sonido* de una señal digital son mucho mejor que las de una señal analógica, la baja resolución de una señal analógica se hace mas notoria en los televisores de pantalla gigante, o cuando hemos visto mucho tiempo un



monitor de computador y luego echamos un vistazo a nuestro televisor convencional entonces podremos notar la falta de nitidez y calidad de la imagen. A diferencia de esto un receptor que reciba una señal digital de televisión brindará una calidad de imagen de DVD.

El formato NTSC, que es el adoptado en nuestro país para la transmisión de televisión local es altamente vulnerable al ruido, esto se manifiesta generalmente en una alteración del color de la imagen, por este motivo los receptores de televisión en formato NTSC poseen el ajuste "HUE". Pero el ruido también se manifiesta en la aparición de una doble imagen en la pantalla e incluso la conocida "lluvia". Al utilizar la transmisión en formato digital estos errores se reducen al mínimo debido a que en los paquetes de datos se incluyen campos para la corrección de los errores de imagen.

La señal de audio en un sistema de televisión se transmite con modulación FM, y es de notar que si se compara el audio de la radio en una estación FM, con el audio producido por un reproductor de CD podemos apreciar la calidad y nitidez de sonido del último, esto se debe a que esta en formato digital y es menos susceptible a ruidos.

La relación señal a ruido para una transmisión de televisión analógica en un sistema de cable es de 49dB y para una transmisión en formato digital se requieren 27 dB, esta disminución de 22dB nos muestra que la transmisión de señales de televisión en formato digital tiene la ventaja de requerir un menor nivel de potencia de transmisión y por ende un ahorro de dinero.

A mas de haber considerado las ventajas en calidad de señal y bajo consumo de potencia que ofrece la transmisión de televisión digital, una ventaja mas importante que estas es la característica que tienen las señales digitales para alcanzar altos niveles de **compresión**. Como hemos visto en este capitulo una señal digital de video sin comprimir consume una tasa de 216Mbps y gracias a las técnicas de compresión que posee el estándar MPEG-2 esta tasa se puede reducir hasta en 4Mbps.

La compresión de la señal de televisión en formato digital recalca un uso eficiente del espectro el cual puede ser reasignado para cubrir otras áreas de servicio, ya sea transmitiendo un mayor número de canales, o extender su red a servicios de telefonía o datos.

CAPÍTULO 3: DVB y CABLELABS

En este capítulo se analizarán los dos estándares más usados en la difusión de televisión digital por cable, se presentara cada estándar con sus características principales y luego se verán los puntos fuertes de cada uno de estos lo que nos llevara a la elección del estándar más adecuado para la digitalización de las señales de televisión en formato NTSC.

3.1.DIGITAL VIDEO BROADCAST

El DVB esta formado por un conjunto de casi 300 compañías con el objetivo de formar estándares para la conversión de la televisión analógica a digital.

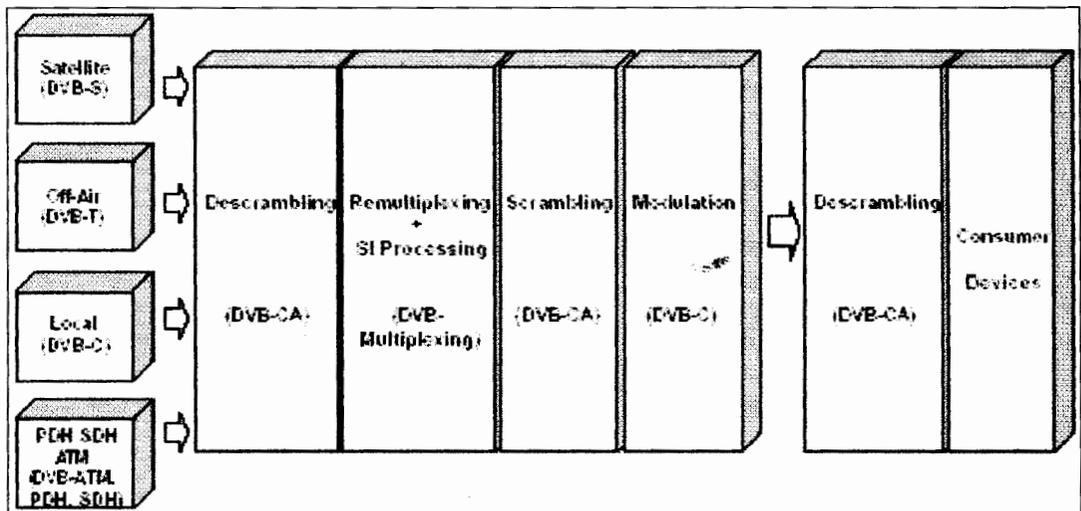
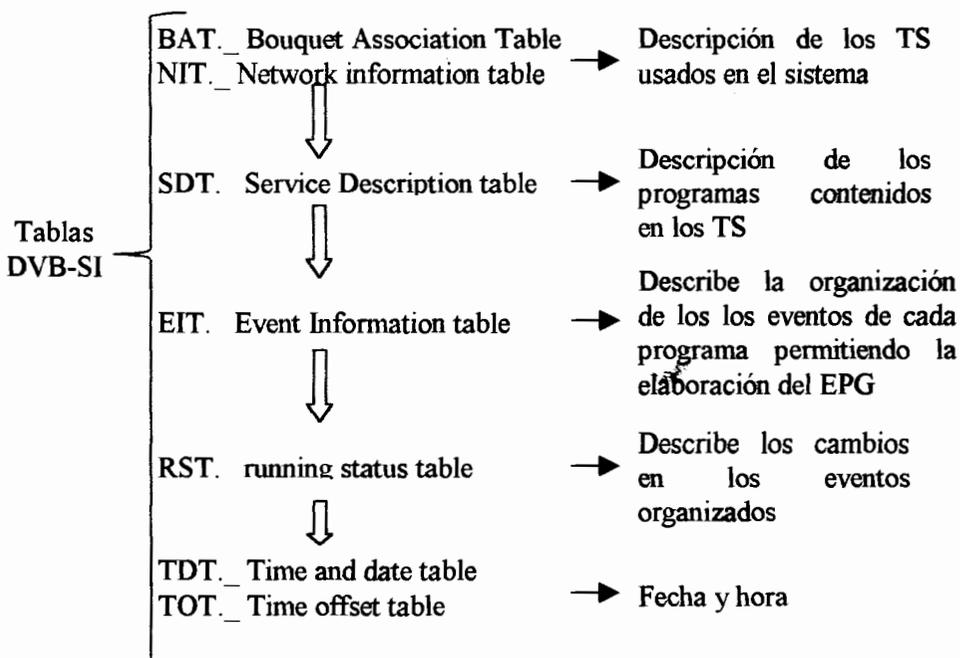


Figura 3.1. Conjunto de especificaciones DVB.

EL proyecto DVB ha desarrollado una serie de especificaciones para los diferentes tipos de transmisiones: DVB-S para difusión satelital y es actualmente el estándar más usado para la difusión de televisión satelital alrededor del mundo, para difusión terrestre se especificó DVB-T, DVB-C para difusión por cable, y otras formas de distribución por redes ATM, PDH, etc. Lo que tienen en común estos formatos es que utilizan MPEG-1 para codificar el audio y MPEG-2 para la codificación de Video.

3.1.1. INFORMACIÓN DEL SISTEMA

Para que los usuarios puedan informarse sobre los programas transmitidos, DVB desarrollo el estándar DVB-SI el cual proporciona un conjunto de herramientas que permitirán el desarrollo de guías electrónicas de programas, conservando los PSI de la especificación MPEG-2.



3.1.2. DVB-C

Este es el estándar que contiene las especificaciones relacionadas a la codificación y modulación de la señal para la red de cable. Primero se procesan los paquetes de 188 bytes del MPEG-2 TS, al primer byte de sincronización de cada 8 paquetes se lo invierte y se aleatoriza el payload con fines de sincronización, luego se le aplica codificación Reed-Solomon ampliando el tamaño del paquete a 204 bytes, seguidamente se procesan los datos para formar las señales I y Q que usaran modulación 64QAM 256 QAM para ser transmitidos por el canal RF de cable. El receptor del otro lado realiza las operaciones inversas con el fin de obtener los paquetes MPEG2.

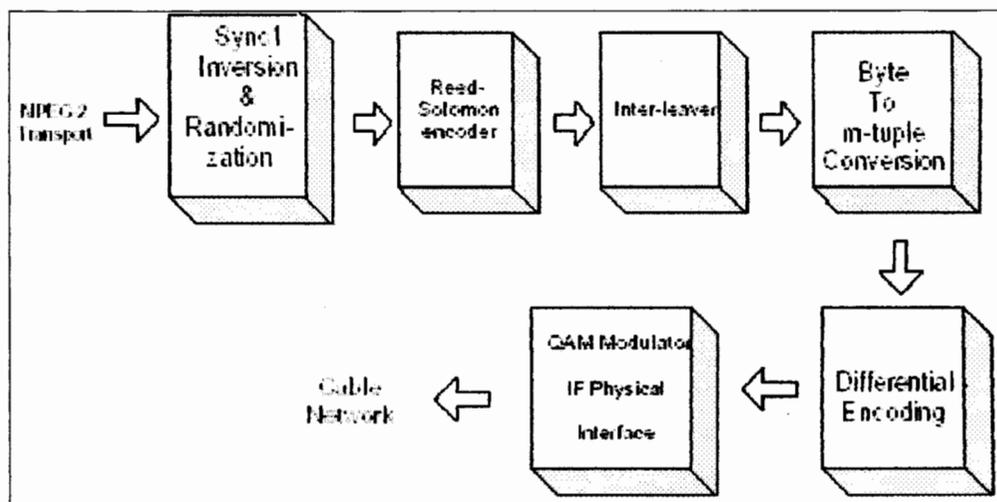


Figura 3.2. Estándar DVB-C.

3.1.3. INTERFACES

Dado a su popularidad como interfaz física para el transporte de programas MPEG-2.

La interfaz ASI coaxial de 75 ohm es considerada en las especificaciones DVB, de

ahí su nombre DVB-ASI.

3.1.4. TELETEXTO

Para la transmisión de teletexto análogo (Closed Caption) DVB desarrollo la especificación DVB-TXT .

Para la transmisión de datos se especifica el estándar DVB-DATA permitiendo de este modo la descarga de software, y el acceso a servicios de Internet sobre canales de difusión (Televisión Interactiva)

3.1.5. ACCESO CONDICIONAL

Para restringir el acceso de determinados servicios a ciertos grupos de usuarios se definió el “Algoritmo común de Encriptado, CSA”, el cual permite el cifrado seguro de los MPEG-2 TS. Para que el usuario pueda acceder a programas encriptados difundidos de forma paralela DVB definió la “Interfase Común para Acceso Condicional” la cual se basa en la inserción de un modulo PCMCIA en el Terminal, esto permitiría que un usuario pueda ser suscriptor de un servicio de difusión por satélite y cable a través de un mismo Terminal.

3.1.6. CANAL DE RETORNO

Las especificaciones del canal de retorno se encuentran en el estándar DVB-RCC, en este se explica el uso de dos canales entre el usuario el proveedor: Un canal de bajada

para la sincronización de todos los Set Top Boxes para la transmisión de upstream, el acceso de subida se logra dividiendo el canal en time slots con acceso TDMA.

3.1.7. FACTURACIÓN

DVB no define ningún estándar para la facturación de los servicios ya que esto se realizaría entre el Sistema de Acceso Condicional y el HE Managment System.

3.1.8. INTEROPERABILIDAD

El estándar DVB permite que equipos de diferentes marcas se puedan comunicar siempre y cuando estos funcionen de acuerdo a las especificaciones del estándar.

Las especificaciones DVB son usadas mayormente en Europa y también tiene aplicación en países como Japón, Hong Kong, Tailandia, Indonesia, Australia, Sur África, y Canadá.

3.2. OPEN CABLE

Estas especificaciones iniciaron el 1 de julio del 2000, gracias a 3 asociaciones americanas:

1. La Sociedad de Ingenieros de Comunicaciones por Cable (SCTE), el Subcomité de Video Digital (DVS), y el Instituto nacional de estándares americanos (ANSI), acreditado como el cuerpo fijador de estándares.
2. El Comité de Sistemas Avanzados de Televisión (ATSC), patrocinado por la

Asociación de Consumidores Electrónicos (CEA).

3.El Open Cable Forum, patrocinado por CableLabs.

La SCTE es la única reconocida para la fijación de estándares de este modo las otras dos deben presentarle sus especificaciones para que este las apruebe.

La especificación Open Cable ha fijado para la codificación del audio el estándar AC-3 y para el video el estándar MPEG-2

Cuando se estaba desarrollando las especificaciones para el estándar ATSC se probaron los formatos de compresión AC-3 y Musicam (MPEG), los dos mostraban las mismas habilidades incluso para la compresión de 5 canales de audio en un mismo ancho de banda, pero AC-3 demostró un mejor rendimiento en determinada área, luego se descubrió que el procedimiento de prueba fue defectuoso y se realizo una prueba posterior tras haber publicado el estándar, llegándose a la conclusión de que Musicam tenia el mismo rendimiento que AC-3. Por este motivo haré una muy breve explicación del sistema de codificación de audio AC-3 ya que la mayor parte de sus aspectos emulan al sistema MPEG.

3.2.1.CODIFICACIÓN DEL AUDIO AC-3

Un codificador de audio AC-3 es similar a uno MPEG-2, la mayor diferencia entre estos dos estándares radica en la estructura de sus frames. Un frame AC-3 contiene un total de 1536 muestras de audio. A continuación se muestra el contenido de un frame

AC-3:

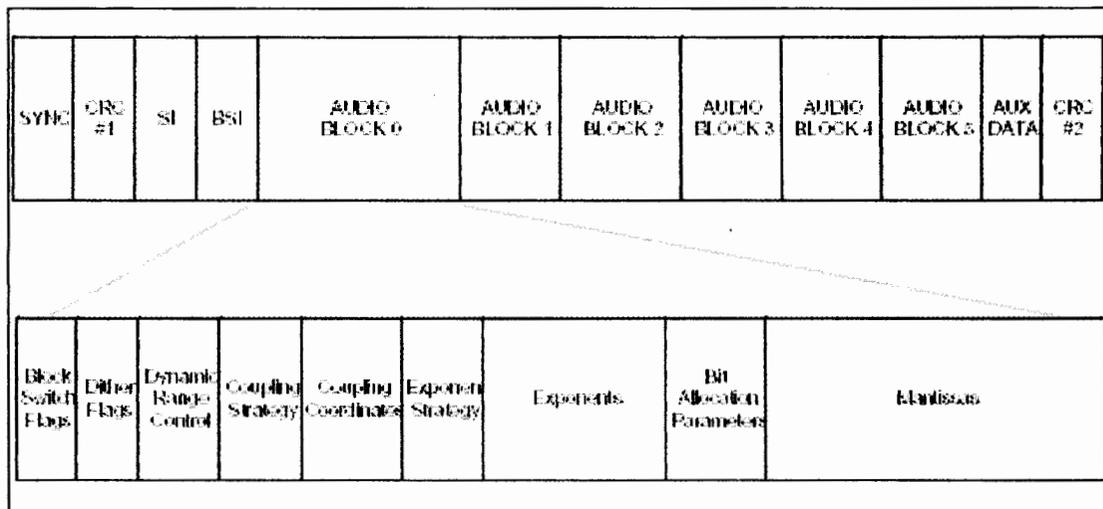


Figura 3.3. Frame de audio AC-3

SI y BSI. Estos campos describen la configuración del flujo de bits incluyendo tasa de muestreo, tasa de datos, número de canales codificados, entre otros.

CRC. Este campo permite la detección y corrección de errores.

Audio Blocks (AB). Dentro de cada frame existen seis bloques de audio cada uno representa 256 muestras de audio. El de longitud mas grande corresponde al audio bloque 0, y es debido a que contiene los campos que permiten al decodificador generar sus niveles de mascara para los demás audio bloques. Estos campos son::

Exponents. Aquí se envían los exponentes de la transformada rápida de fourier.

Mantissas. Este campo contiene valores necesarios para descuantizar la señal

Aux Data. Este campo se encuentra al final del frame, le permite a los diseñadores

del sistema incluir información de control o status en un sistema amplio de transmisión.

3.2.2. INFORMACIÓN DEL SISTEMA

La información del sistema se transmite por los canales fuera de banda, a mas de enviar los PSI comunes al estándar MPEG-2, se añaden otras tablas de acuerdo al estándar ATSC A/65 bajo el nombre PSIP: Protocolo de información de programas y sistemas.

Tablas ATSC- PSIP	}	MGT._ Master Guide table	→	Posee una lista de todas las tablas PSIP presentes con sus punteros respectivos
		VCT. Virtual Channel Table	→	Lista de todos los canales virtuales que se pueden encontrar en el TS
		DCCT._ Directed Channel Change Table	→	Contiene peticiones para que un receptor conmute de un canal de origen a uno de destino.
		RRT. Rating Region Table	→	Describe los sistemas de rating usados en las regiones donde se transmite el programa
		STT._ System Time Table	→	Fecha y hora
		EIT._ Event Information Table	→	Tablas usadas para la elaboración de la guía electrónica, cada tabla contiene información para un periodo de hasta 3 horas
		ETT._ Extended Text Table	→	Proporciona descripciones adicionales para los canales virtuales o los programas.

3.2.3. TRANSMISIÓN

Open Cable transmite cuatro tipos diferentes de canales por la red:

-Canales NTSC, (54-864 Mhz),modulación AM-VSB

-Canales FDC (70-130 Mhz)

-Canales RDC (5-42 Mhz)

-Canales FAT (54-864 Mhz), con modulación QAM 64 o 256 pueden transmitir 27 o 38 Mbps respectivamente.

3.2.4. ACCESO CONDICIONAL

Open cable especifico un modulo PCM /CIA llamado Punto de desarrollo (POD) que permite establecer las comunicaciones de usuario a proveedor y viceversa, además brinda seguridad a los servicios que se transmiten, y tienen bajo impacto en el costo del HE ya que la mayoría de los componentes que soportan la señalización del canal se encuentran en el POD. Para evitar la piratería se requiere actualizar el modulo POD sin modificar ningún equipo en el HE este procedimiento se encuentra en el estándar DVS-301.

3.2.5. SISTEMA DE SEGURIDAD

Primeramente cabe hacer la aclaración en el uso de ciertos términos, al referirme a

HOST me referiré *al equipo terminal genérico* que no posee características específicas de la red; el POD *es el modulo* que posee las características específicas de la red y es proporcionado por el proveedor, este modulo por lo general se anexa a modo de tarjeta en el HOST. Al momento de inicializarse el sistema el CAS (*Conditional access system*), el equipo encargado de la seguridad de la información, envía dos claves que tanto el HOST como el POD reciben y mediante un protocolo de acuerdo de claves llamado Diffie-Hellman mas unas claves privadas que el HOST y el POD poseen, se genera una Clave de Protección. Cuando el CAS envía los paquetes encriptados estos deben atravesar primero el POD, este desencripta los paquetes gracias al Libro Electrónico de Códigos (ECB) perteneciente al algoritmo Estándar de Encriptacion de Datos (DES) y se los pasa al HOST encriptados de acuerdo a la clave de protección de copia.

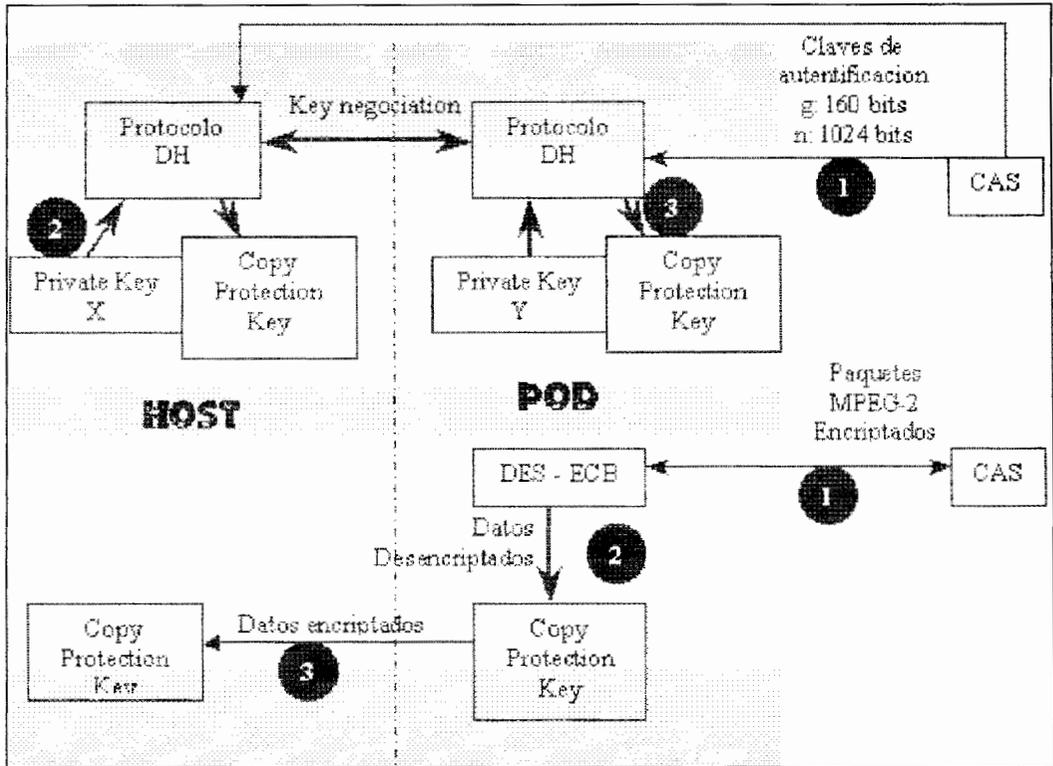


Figura 3.4. Sistema de seguridad del estándar Open Cable

3.2.6. IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS ILEGALES

Para identificar equipos terminales que no han sido aprobados por el proveedor Open Cable define el procedimiento mediante el cual el POD solicita al HOST su identificación, la misma que tiene una longitud de 40 bits, y se la transmite por el canal de retorno (RDC) al CAS, este verifica si el HOST es válido o no y envía un acknowledgment al POD.

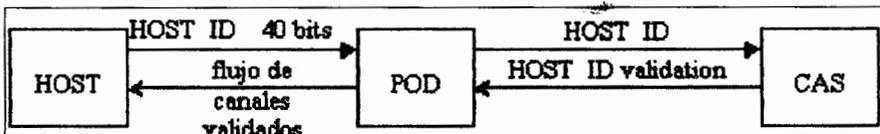


Figura 3.5. Validación entre HOST, POD y CAS

Si es que el HOST fuese invalidado por el CAS el POD recibirá de la red externa los

paquetes con el campo de autorización válido que permitirá que el POD entregue al HOST los canales a los que este ha sido autorizado solamente o en el caso de que fuese un HOST no válido en su totalidad el POD no entregara al HOST ningún programa lo que lleva a una pérdida total del servicio

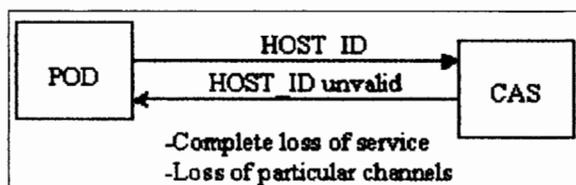


Figura 3.6. Equipo terminal no autenticado por CAS

3.2.7. INTERFACE

Open Cable no tiene definido ninguna interfaz estándar, aunque las interfaces DHEI y ASI son las más usadas en USA.

3.2.8. TELETEXTO

El estándar DVS-258 cubre la parte de datos de la sintaxis de video, estos datos se insertan en la secuencia GOP, y llevan teletexto digital y analógico. En cuanto a los datos IP entregados como parte de algún servicio MPEG la especificación DVS-311 presenta un mecanismo sencillo para que el terminal pueda procesarlos.

3.2.9. CANAL DE RETORNO

Existen dos especificaciones para los canales de subida y bajada fuera de banda:

DVS 178: Desarrollado por Motorola, utiliza 2.048 Mbps para el canal FDC y 256

Kbps para el canal de retorno, con modulación QPSK.

DVS 167: Desarrollado por DAVIC, utiliza 1.544 o 3.088 Mbps en el canal FDC y 256Kbps, 1.544Mbps o 3.088Mbps en el canal RDC, modulación QPSK

3.2.10.FACTURACION

Todavía no se define un interfaz que permita la facturación de los servicios. Los modelos actuales de facturación solo reconocen la suscripción y los eventos PPV y todavía no son los suficientemente flexibles para soportar servicios con distintos tipos de facturación.

3.3.ANALISIS DE LOS DOS ESTANDARES

La siguiente tabla muestra los aspectos más importantes de los dos estándares:

Esquemas de Modulación	DVB-C			OPEN CABLE	
	16-QAM	32-QAM	64-QAM	64-QAM	256-QAM
Ancho de banda utilizado [Mhz]	7.86	7.96	7.92	6Mhz	
Bit rate [Mbps]	27.34	34.61	41.34	26.97	38.81
Esquemas usados para corrección de errores	Reed Solomon			Reed Solomon + Trellis Coding	
C/N (BER= 10^{-6}) [dB]	25.02	25.98	27	27	33
Eficiencia de Ancho de banda [bits /hz]	3	4	5	4	4

Tabla 3.1. Principales características de los estándares DVB y Open Cable

Como nos indica la tabla DVB soporta hasta 64-QAM a diferencia de OpenCable, pero con esta modulación posee una tasa de bits mayor a la especificada por la modulación QAM 256 de Open Cable, esta ventaja permite entregar una mayor tasa de bits con una menor relación C/N haciéndolo menos susceptible al ruido, de este

modo DVB muestra un punto a su favor en lo que se refiere a la inmunidad al ruido, a más de esto en un hertz podemos llevar un bit más que cualquiera de los otros esquemas de Open Cable.

3.3.1. PUNTOS CLAVE DE DVB SOBRE OPEN CABLE:

Completo conjunto de estándares internacionales que cubren todos los medios de difusión de programas. _Esta sería una gran ventaja si estuviésemos hablando del diseño de los equipos mas no es de mucha importancia en el diseño de la red.

Mayor eficiencia en el uso del espectro. _Como se puede ver en la tabla en un ancho de banda de 1Hz podemos llevar un bit más que los esquemas de modulación de Open Cable.

Soporta canalizaciones en anchos de banda de 6, 7 y 8 Mhz. _esta característica no es de mayor relevancia ya que podríamos acogernos a este estándar aun cuando nuestro sistema sea NTSC con los debidos equipos moduladores y demoduladores.

Compatibilidad relativa entre transmisiones satelitales y terrestres. _ Al ser DVB un conjunto de estándares compatibles entre sí el diseño de una red bajo este estándar se vuelve sencillo al encontrar fácilmente equipos compatibles entre sí.

3.3.2. PUNTOS CLAVE DE OPEN CABLE SOBRE DVB

Mayor seguridad. _ La propuesta de DVB para el control de acceso no es robusta ya que solo proporciona un algoritmo (CSA) de encriptado dejando que el CAS realice



CIB-ESP



CIB-ESP



CIB-E

la mayor parte de validaciones consumiendo de forma ineficiente el canal de retorno. A diferencia de este, Open Cable posee tres algoritmos (DH, SHA-1, DSE) de los cuales solo uno se efectúa en el CAS y los otros dos permiten la validación del HOST con el proveedor, si se quisiese reforzar la seguridad en la red solo sería necesario la configuración de los módulos POD en lugar de una configuración de todo el Sistema de Control de Acceso.

Para determinar el estándar más adecuado para la implementación se necesitan establecer prioridades que permitirán tomar una decisión acorde con nuestras necesidades.

3.3.3. ASPECTOS DETERMINANTES EN LA ELECCION DEL ESTANDAR MAS ADECUADO PARA TRANSMISION DE TELEVISION DIGITAL

Ya hemos visto los puntos claves que un estándar tiene con respecto a otro, ahora ajustaremos estas propiedades a los requerimientos de la empresa TVCABLE; primero realizaremos una tabla de ponderaciones de los aspectos más importantes para la empresa en lo que concierne a este cambio tecnológico, y luego justificaremos los pesos asignados para llegar a una elección definitiva del estándar que más se ajusta a los requerimientos del proveedor.

TABLA DE PONDERACIONES:

Aspecto a considerar	Relevancia %
Seguridad	.40
Precio de adquisición de los equipos	.25

Uso eficiente del ancho de banda (bits/hz)	.15
Estandarización de componentes	.10
Inmunidad al ruido	.05
Canalización en diferentes Anchos de banda	.05

Tabla 3.2. Tabla de ponderaciones

JUSTIFICACION

Al aspecto relacionado con la seguridad se asignó un peso de .4 ubicándolo como el factor determinante en la elección del estándar; se hizo esta asignación basándose en el problema actual que la empresa TVCABLE tiene al enfrentarse a la piratería de su señal. Aquí en Guayaquil es muy normal la compra ilegal de tarjetas decodificadoras por un precio de casi 200 dólares y gracias a ellas el usuario puede acceder a todos los canales del servicio de televisión sin pagar un centavo al proveedor. El aumento de este negocio ilegal ha causado pérdidas a la empresa, y si se permite que siga avanzando, el número de suscriptores irá disminuyendo poco a poco.

Luego se asignó un peso de .25 al aspecto relacionado con el precio de los equipos, que es un factor muy importante en la toma de decisiones empresariales. Los equipos de Open Cable poseen un valor económico semejante a los equipos DVB, pero a más de esto, se consideró la adquisición de equipos de segunda mano en lo que se refiere a los terminales en la casa del usuario. Luego de un estudio exhaustivo de las propuestas de los proveedores de equipos, se encontró que los de segunda mano ofrecidos por un operador de cable en los Estados Unidos se ajustaban a nuestros requerimientos y por ende brindaban un mayor Costo / beneficio que los equipos

nuevos. Esto le da a TVCABLE un ahorro económico en lo que se refiere a la adquisición de Set Top Boxes, y aunque el precio de los equipos de distribución (multiplexor, encoder, etc.) es semejante a los equipos DVB, el ahorro en la inversión presenta a Open Cable como una mejor opción.

En cuanto al uso eficiente del ancho de banda, la diferencia de un bit más por cada hercio que tiene DVB sobre Open Cable, le da la ventaja al primero, pero no es de gran trascendencia para una empresa como TVCABLE, donde el ancho de banda no es mayor problema.

La estandarización de los componentes de la red de cable, da al proveedor una mayor seguridad acerca del rendimiento de su red; en este aspecto DVB posee la ventaja sobre Open Cable.

Para terminar la justificación, los aspectos de ruido no son factores determinantes en un medio de distribución guiado, ya que la señal se encuentra libre de interferencias.

Aspecto a considerar	Relevancia %	Open Cable	DVB
Seguridad	.40	+	
Precio de adquisición de los equipos	.25	+	
Uso eficiente del ancho de banda (bits/hz)	.15		+
Estandarización de componentes	.10		+
Inmunidad al ruido	.05	+	
Canalización en diferentes Anchos de banda	.05		+
Peso total		.70	.30

Tabla 3.3. Tabla de asignación de pesos

Podemos concluir que Open Cable es el estándar más adecuado para la difusión de

televisión en formato digital por la red de cable, ya que posee el 40% de ventaja sobre DVB en lo que se refiere a los requerimientos de TVCABLE.

CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA RED

4.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS SEÑALES DE ENTRADA

Las señales digitales de televisión que serán transmitidas por la red HFC, pueden recibirse en el HE en formato digital o analógico. El formato digital es utilizado en la mayoría de las señales recibidas de forma satelital y las señales locales tienen formato analógico.

SEÑALES SATELITALES

Para las señales satelitales que se reciben en formato digital, existen diferentes formas de procesamiento, la primera se aplica cuando las señales son destinadas *exclusivamente para difusión en formato digital*, haciéndose innecesaria su conversión al formato analógico. Para la recepción de este tipo de señales, solo se requiere un IRD cuya característica de entrada sea compatible con el formato de la señal recibida (DVB o DCII), y que a la salida produzca un flujo de paquetes de transporte MPEG-2.

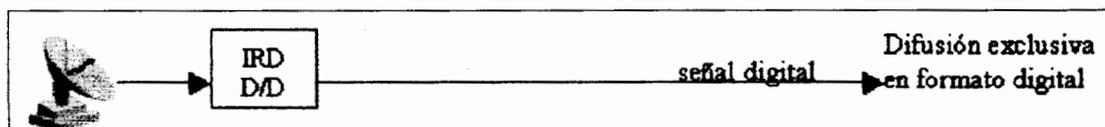


Figura 4.1. Difusión exclusiva en formato digital

Cuando se requiere insertar anuncios publicitarios de carácter local, en las señales recibidas desde el satélite, los equipos del HE encargados de esta función necesitan una señal de entrada en formato analógico para añadir la publicidad, es decir se requiere una conversión D/A para luego se convertirlas nuevamente a formato digital, esta conversión se lleva a cabo en el ENCODER, el cual convierte la señal analógica en paquetes de transporte MPEG-2.

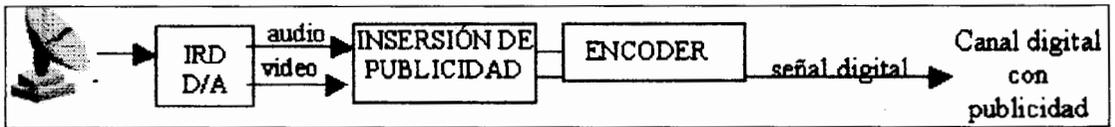


Figura 4.2. Canales en formato digital con inserción de publicidad

Durante el proceso de transición se requiere transmitir algunos canales en ambos formatos:

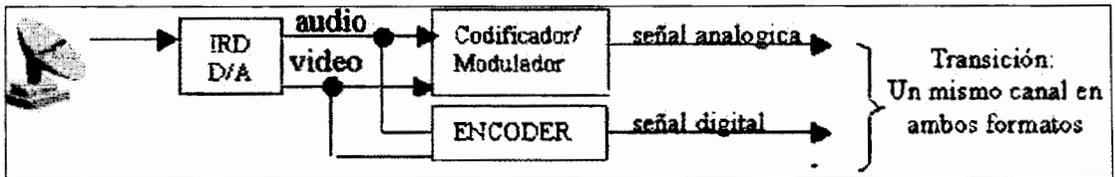


Figura 4.3. Transmisión de un canal de televisión en ambos formatos

En otras palabras, en el espectro se encontrara el canal “ABC” en formato analógico y digital, hasta cuando solo sea necesario transmitir el formato digital, una vez que se complete el proceso de cambio de decodificador en el domicilio del usuario.

Para la implementación no es económicamente conveniente adquirir un IRD digital que trabaje en paralelo con el analógico, más adecuado es la inserción de un

ENCODER que trabaje en paralelo con el Codificador/Modulador analógico

SEÑALES ANALÓGICAS.

Las señales analógicas recibidas en el HE provienen de canales de televisión local, y de canales “off-air”, los canales locales son generados por el operador de cable mientras que los del tipo “off-air” pertenecen a las difusoras VHF de televisión no pagada. Para que estas señales sean transmitidas en formato digital, se requiere un ENCODER para convertir la información de entrada en paquetes de transporte MPEG-2.

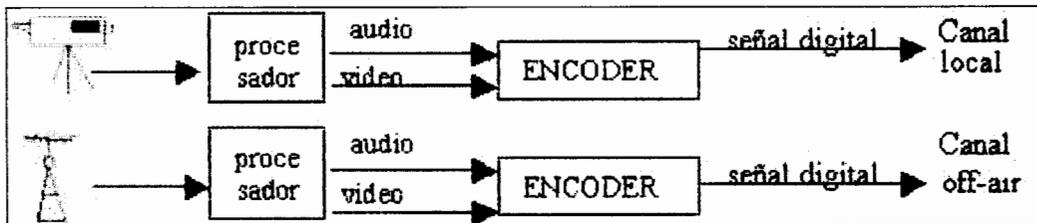


Figura 4.4. Procesamiento de señales de entrada analógicas

CARACTERÍSTICAS DE LAS SEÑALES DE ENTRADA AL ENCODER:

El ENCODER es el equipo que permitirá convertir el audio y video analógico en paquetes de transporte MPEG-2. Las características de las señales analógicas de entrada al encoder son:

VIDEO:

nivel: 100IRE+/-5% (máxima brillantez FCC)

Ancho de banda: 4.75Mhz

$S/N \geq 56\text{dB}$

Impedancia / tipo de conector de la línea de Tx = 75 ohm / BNC

AUDIO:

Dos canales estéreo balanceados

Ancho de banda: 20Hz a 20 kHz $\pm 2\text{dB}$

Diafonía (crosstalk) = 60dB

Rango dinámico = 75 dB

$S/N \geq 85\text{ dB}$

Impedancia/ tipo de conector de la línea de Tx=600ohm/terminal block

4.2. CARACTERÍSTICAS DEL ENCODER NTSC-MPEG-2

Las señales de entrada al encoder son señales de audio y video, que se requieren en formato analógico para la inserción de publicidad y durante la transición analógico-digital en la cual se deben difundir simultáneamente ambos formatos, por esta razón el encoder debe poseer como entradas el audio y video en el formato analógico cumpliendo con el estándar NTSC. Las características del ENCODER son:

- Tipo de codificación de video: MPEG-2
- Tipo de codificación de audio: AC-3
- Salida de audio y video digital: DVB-ASI

-Transmisión asíncrona

-Dist Máx: 91.44mt

-Velocidad de Reloj: 270 Mhz

- Capacidad de datos MPEG-2: 214 Mbps
- Codificación de capa física: 8B/10B
- Tipo de cable: coaxial 75ohm o fibra multimodo
- Longitud de los paquetes: 188-204 bytes

- Compresión de video (perfiles y niveles): MP@ML :
- Predicción bidireccional (I, P & B frames)
- Formato de crominancia: 4:2:0
- Máxima tasa de bits: 15Mbps
- Densidad de muestreo: 720 muestras/linea, 576 lineas por frame, 30 frames/seg
- BIT RATE video PES: 4Mbps
- BIT RATE para canales de audio: 0.192 Mbps
- TRANSPORT STREAM RATE < 15 Mbps
- Configuración y control del encoder: Interfaz sencilla (Web, PC) via Fast-ethernet
- Posibilidad de actualización

La codificación elegida para el audio y video son las fijadas por el Estandar de television digital del Comité de Sistemas de Televisión Avanzados (ATSC) A-52.

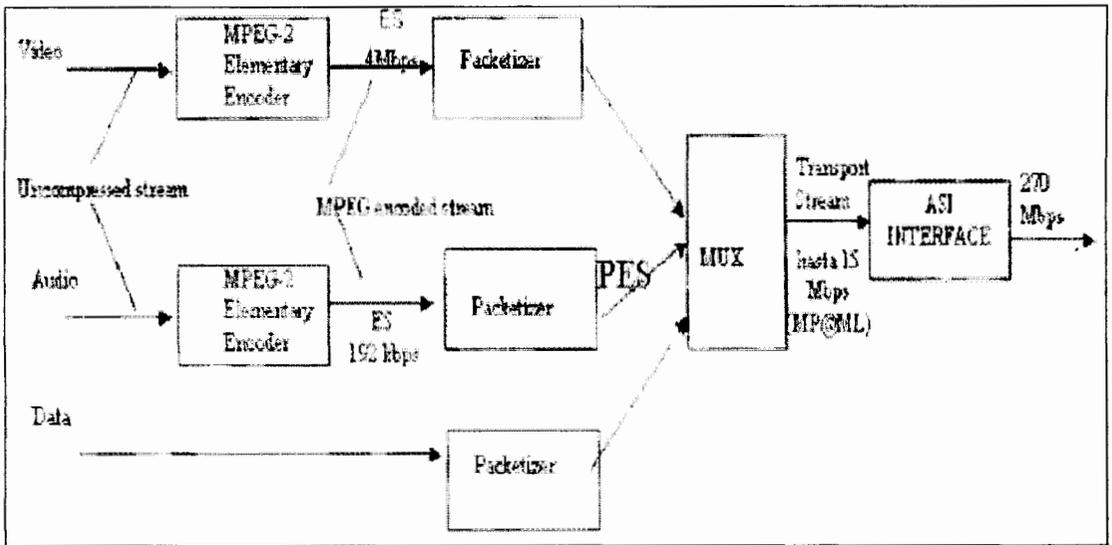


Figura 4.5. Codificación del audio y video

El flujo de bits de salida con información sobre MPEG-2 es de 216 Mbps. Aunque la interface ASI define un flujo de bits de 270 Mbps, esta tasa se reduce por la codificación que se realiza a nivel de capa física, donde a cada 8 bits de información se lo codifica en un total de 10. De aquí tenemos que el flujo de bits de información es de $270\text{Mbps} * 8/10 = 216\text{Mbps}$.

4.3. EQUIPOS DE RECEPCIÓN SATELITAL

Las señales recibidas desde el satélite se encuentran en las bandas C y Ku, estas se amplifican en el LNA adjunto a la antena receptora, luego se añade una etapa más de procesamiento con el LNB obteniéndose así la señal en banda L.

Los Decodificadores-Receptores Integrados, IRD, conforman el siguiente bloque de procesamiento de las señales satelitales; cuando se repasaron las diferentes formas de procesar las señales de entrada al HE se hizo alusión a este equipo. El IRD necesario

para la transmisión de canales de televisión en formato analógico es del tipo D/A, ya que su entrada es una señal digital proveniente del satélite, y su salida una señal audiovisual analógica.

Para la recepción de señales de televisión que serán transmitidas exclusivamente en formato digital, se necesita un IRD del tipo D/D, llamado también: RECEPTOR-DESENCRIPTOR MULTIPLE, su nombre indica que a diferencia de los receptores satelitales usados para formato analógico, puede transmitir mas de un canal de televisión, ya que tiene a su salida un flujo de paquetes MPEG-2 multiplexados, llamados comunmente Flujo de transporte multiprograma (MPTS).

Las señales satelitales de televisión se transmiten bajo dos estándares: Digicipher (DCII 2) y DVB, ambos se basan en el estandar MPEG-2, usan el formato de Transport Stream, y soportan los formatos de video de 720X480, 480X480, 576X480. La diferencia entre estos dos estandares radica en la codificación del audio, DCII usa AC-3 y DVB usa MUSICAM pero a más de esto son incompatibles por la Información de sistema que llevan en sus TS. Por este motivo un mismo IRD no puede recibir tramas DCII y DVB.

- Entrada: Banda L
- Salida: DVB-ASI, MPTS
- Impedancia de entrada y salida: 75 ohms, BNC

4.4. MULTIPLEXACIÓN

4.4.1. CONFIGURACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL SISTEMA

En el encoder se debe especificar el PID de los servicios de audio, video y datos, así como el PID del PMT, estos valores se añaden al header del TS, y le permitirán al decodificador identificar que información se está recibiendo. Como lo indica la figura inferior, al inicializar la transferencia de paquetes de transporte MPEG-2 al decodificador, el primer TS se identificará con el PID "0", el decodificador sabrá que el contenido de este paquete le permitirá construir su Tabla de Asociación de Programas, en esta tabla se encuentran los PID asociados a cada uno de los canales a transmitirse. El siguiente paquete llevará uno de los PID contenidos en la tabla PAT, y en su payload estará la Tabla de Mapeo de Programas, PMT, con esta información el decodificador sabrá el PID que identifica los canales de audio, video y datos que están contenidos en el programa.

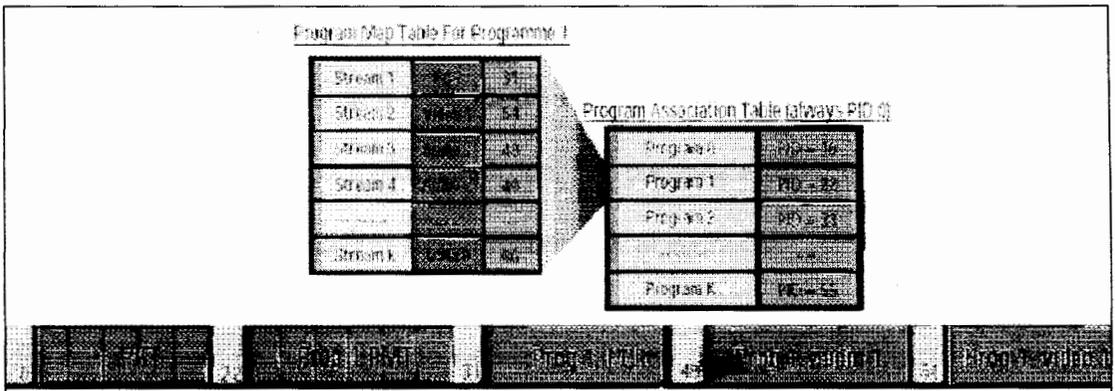


Figura 4.6. Tablas PAT y PMT en un flujo de paquetes de transporte MPEG-2

Para la secuencia de la figura superior luego de recibir la tabla PAT, el decodificador recibe un paquete con PID=22, y en base a su tabla PAT, reconoce que esta recibiendo información referente al programa 1, estos datos le permiten formar la tabla PMT del programa 1, para que cuando se reciba alguno de los PID's contenidos en esta tabla, se procese su información de forma adecuada, entonces, si se recibe un PID=48, el decodificador, en base a las tablas PAT y PMT, identificará el payload de aquel paquete como la información de audio referente al programa 1.

Para el proceso de multiplexación es muy importante que se hayan asignado diferentes PID para cada uno de los programas, el PID es un número de 13 bits que identifica el tipo de información que se lleva en el payload del TS, como a la salida de cada encoder se tiene un programa los PID de cada uno de estos no deben coincidir, a riesgo de producir un conflicto en el multiplexor, los PID son configurados por el usuario en el caso de las señales provenientes de los encoders, para el caso de las señales de salida de los IRD se tiene que estos equipos asignan los PID de manera que no existan coincidencias en los TS de los diferentes programas. La salida de los IRD se compone por un flujo multiplexado de TS, por este motivo no es necesario pasar estos datos por un multiplexor sino directamente al encriptador.

Se puede elegir un multiplexado estadístico o uno temporal, el primero permite una administración más eficiente del ancho de banda de la red, pero a la vez necesita negociar servicios con los encoders, esto lleva a la adquisición de encoders especiales y un mayor costo, para un inicio en la digitalización donde no es imperante el ahorro

del BW, se puede utilizar la multiplexación temporal de los paquetes. Un diagrama que muestra el funcionamiento del multiplexor se muestra a continuación:

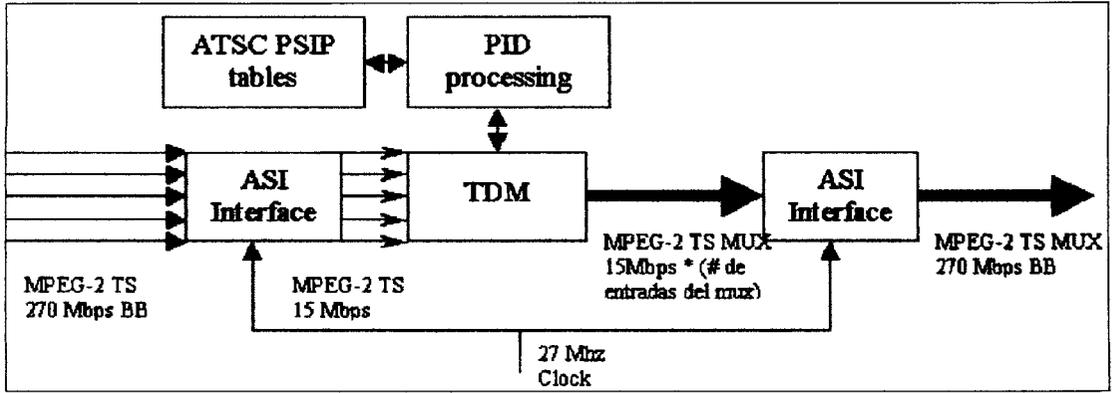


Figura 4.7. Proceso de multiplexación

Las características que se deben tener en cuenta al elegir el multiplexor son:

Compatibilidad con el estándar ATSC, para la creación de tablas PSIP.

Longitud de paquetes MPEG-2 (188 o 204 Bytes)

Los programas a la salida del multiplexor a través de la interfaz ASI tendrían este aspecto:

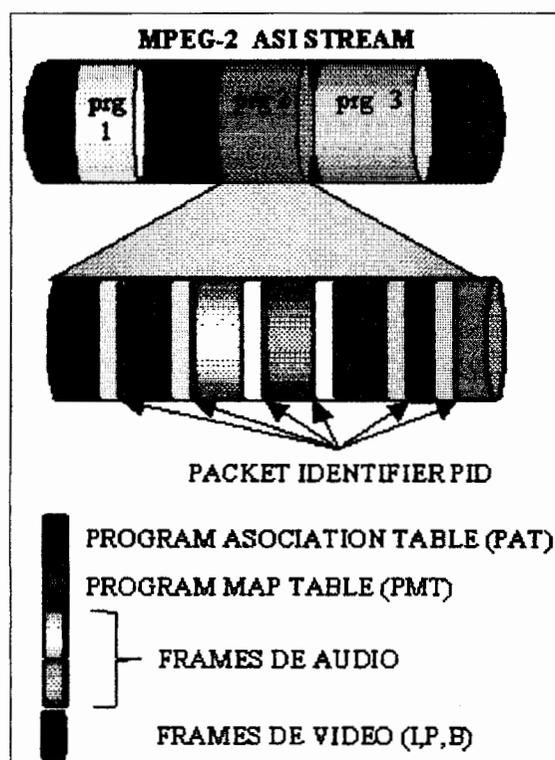


Figura 4.8. Flujo de programas multiplexados a través de la interfaz ASI

4.5. ENCRIPTADO

Este proceso es necesario para asegurar la transmisión de la señal, el estándar Open Cable ha especificado el estándar de encriptado DES de General Instruments. Este algoritmo trabaja con bloques de 64 bits y una clave de 56 bits. A la salida se tendrán tramas de transporte MPEG-2 cifradas.

4.6. MODULACIÓN

La ubicación espectral de la información de video digital estará situada entre los 550 y 864 Mhz tal como lo indica el Estándar para la Interface de la red digital de cable, DVS-241:

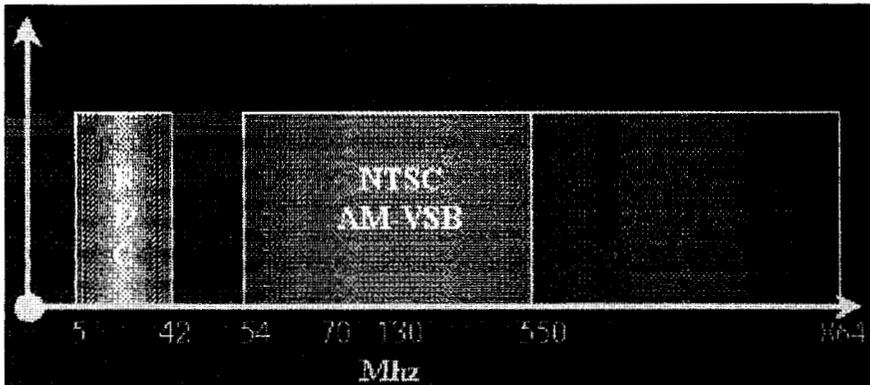


Figura 4.9. Asignación espectral para los canales dentro de la red HFC

La modulación es la última etapa de procesamiento de las tramas MPEG-2, por este motivo si es que no se definió en las etapas anteriores, se debe acondicionar el paquete de transporte con los debidos códigos de recuperación de errores para que no exista pérdida de la señal durante su transmisión.

El cálculo de la razón de código para la transmisión QAM por cable se determina de los procesos que los paquetes de transporte MPEG-2 deben atravesar para estar listos para la transmisión.

4.6.1. DETERMINACIÓN DE LA TASA DE INFORMACIÓN EN LOS CANALES QAM.

De acuerdo a la especificación DVS-031, la modulación QAM con constelaciones de 64 y 256 son las más apropiadas.

La tasa de bit para un canal con ancho de banda de 6 Mhz y modulación QAM-64 es de:

$$B_{64-QAM} = f_b / 6 = 6 \text{ Mhz} = f_b / 6 \rightarrow f_b = 36 \text{ Mbps}$$

Pero el estándar (DVS-031) fijo la tasa de bit del canal en 30.34165Mbps, este valor se reduce debido a los procesos de acondicionamiento que los paquetes MPEG-2 deben atravesar para su transmisión por la red de cable.

El primer proceso que atraviesan los paquetes de 188 Bytes es la codificación Reed Solomon donde se escojen bloques de 854 bits y se les añaden 42 bits de información, a cada 7 bits de información se le asigna un simbolo, ($N= 896/7=128$, $K= 854/7=122$) la eficiencia del código es:

$$R_{RS} = K/N = 122/128 = 0.953125$$

N = número de símbolos de código

K = número de símbolos de información

Luego de esto a las palabras de código (128 símbolos) se las somete a un proceso de aleatorización para evitar errores de ráfaga sin disminuir el bit rate, seguidamente se forman bloques de $L=60$ palabras de código para formar un frame FEC más 42 bits para sincronización del frame, este produce una pérdida de bit rate dada por:

$$R_{FRAME} = L * N * 7 / (7 * L * N + 42) = 0.9992194$$

Para mejorar la relación señal a ruido se procede a la codificación Trellis la cual se aplica al código interno, aumentando la constelación de símbolos sin modificar la tasa de transmisión de estos. Se agrupan 5 símbolos de 6 bits cada uno, a dos bits de cada uno de estos grupos se los codifica una razón de 4/5.

$$R_{\text{TRELLIS}} = [5 \cdot (6-2) + 5 \cdot 2 \cdot (4/5)] / (5 \cdot 6) = 0.9992194$$

Entonces se tiene que:

$$R_{\text{FEC}} = R_{\text{RS}} R_{\text{FRAME}} R_{\text{TRELLIS}} = 0.8888889$$

La tasa de información se determina con la capacidad del canal y la razón de código.

$$R_I = R_C R_{\text{FEC}} = 30.34165 \text{ Mbps} \cdot 0.8888889 = \mathbf{26.97035 \text{ Mbps}}$$

4.6.2. LA RELACIÓN SEÑAL A RUIDO

El estándar DVS-313 determina una relación señal a ruido para las señales de video digital mayor a 27dB. La obtención de este valor se determina para una probabilidad de error de 10^{-6} y una relación E_b/N_0 de 19 dB obtenidos de la gráfica del anexo:

$$E_b/N_0 = 10 \log C/N + 10 \log B/f_b$$

E_b = Energía de Bit

N_0 = Densidad de ruido

C/N = Relación portadora a ruido

B = Ancho de banda

f_b = Velocidad de bit

De la gráfica tenemos que:

$$19 \text{ dB} - 10 \log (B/f_b) = C/N [\text{dB}] = 26.78 \text{ dB}$$

$$\text{Ancho de banda (64-QAM)} = B = f_b/6 \rightarrow B/f_b = 1/6$$

Comparación entre los sistemas QAM de 64 y 256

Para la modulación 256 QAM es necesaria una relación C/N de por lo menos 33 dB.

La modulación QAM 256 requiere solo el 75% del ancho de banda que un canal de 64 QAM, y a la vez la energía promedio por símbolo es 6dB mayor que la de un símbolo 64 QAM.

4.6.3. El BER y el MER

La relación señal a ruido no es suficiente para describir una señal digital con modulación QAM, por este motivo los indicadores BER y MER nos dan una mejor idea de la calidad de la señal.

El **Modulation Error Ratio (MER)**, nos brinda información similar a la relación S/N o C/N sobre las señales analógicas; el MER indica que tan cerca están los símbolos de la constelación en relación con la ubicación deseada.

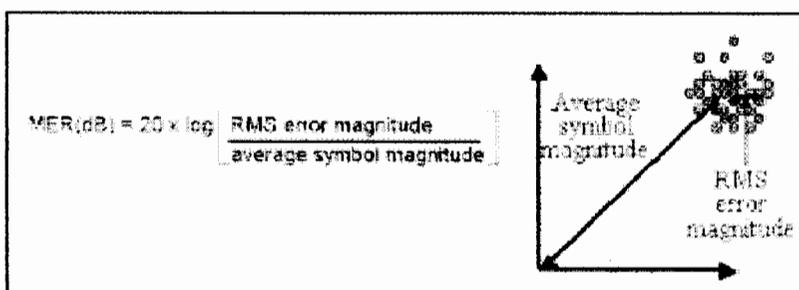


Figura 4.10. Modulation Error Ratio

Para la modulación 64-QAM se considera que el MER debe ser mayor a 23 dB.

El **Bit Error Rate (BER)**, es el mejor indicador de estado del sistema, determina que porcentaje de bits serán recibidos de forma errónea dado un número total de bits transmitidos. El límite para una degradación visible de la señal esta dado por un $BER = 10^{-6}$, esto quiere decir que por cada millon de bits transmitidos, un bit tendrá informacion errónea. Para una transmisión a una tasa de **26.97Mbps** y un BER de 10^{-6} , cada segundo se presentara un total de 27 errores.

Cuando en el HE se desea monitorear la calidad de la señal analógica de televisión, se utiliza la pantalla del televisor como guía, esto no es posible cuando se trata de una señal digital, pues se podría observar una imagen clara y sin mayor número de errores hasta cuando abruptamente no se presente nada en pantalla, de este modo el monitoreo de la imagen no es suficiente para una señal digital, se necesita un Analizador que permita medir el BER y MER, para de este modo evitar una abrupta falta de imagen. Como se verá a continuación, el principal indicador de la calidad de la señal es el MER, ya que el BER presenta cambios abruptos ante pequeñas variaciones del MER.

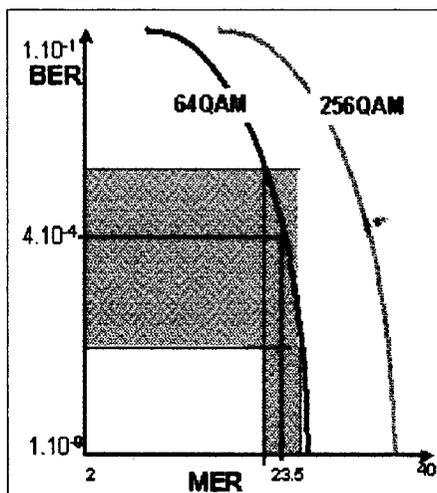


Figura 4.11. Relación entre BER y MER



Esta variación del BER ante pequeños cambios del MER, quiere decir que podemos observar una imagen nítida, aunque la señal se encuentre con un alto nivel de error de modulación. Para solucionar el problema antes de que se produzca la ausencia de imagen, se debe monitorear la señal continuamente con el ANALIZADOR QAM, para poder observar los cambios en la constelación de la señal.

C/N, BER y MER.

La figura a continuación, muestra la degradación de la imagen en formato analógico al disminuir la relación señal a ruido; con una relación S/N de 48dB podemos apreciar una imagen nítida, pero a menos de 36dB esto es dificultoso, debido a la cantidad de ruido presente en la señal. En el centro podemos apreciar el cambio en la imagen al aumentar del BER, en transmisiones con BER mayor a 10^{-4} el decodificador no muestra ninguna imagen debido al excesivo número de errores. La parte inferior de la figura muestra la constelación de la señal con su respectivo MER, este diagrama se obtiene del ANALIZADOR QAM del cual hablaremos más adelante.

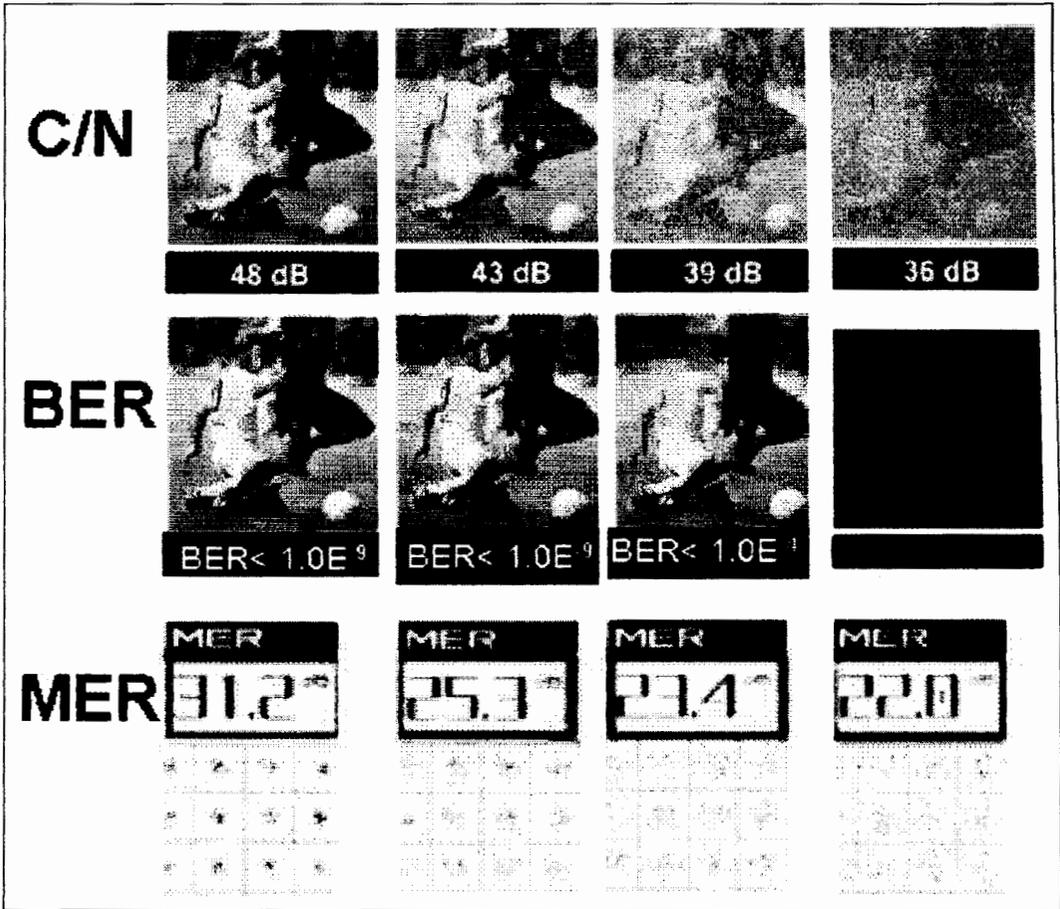


Figura 4.12. Aspecto de la imagen de acuerdo a valores determinados de BER, MER y C/N

4.6.4. EL ANALIZADOR QAM

Para estudiar las propiedades de las señales QAM no basta con el analizador de espectros ya que este no da una información clara sobre el estado de la señal.

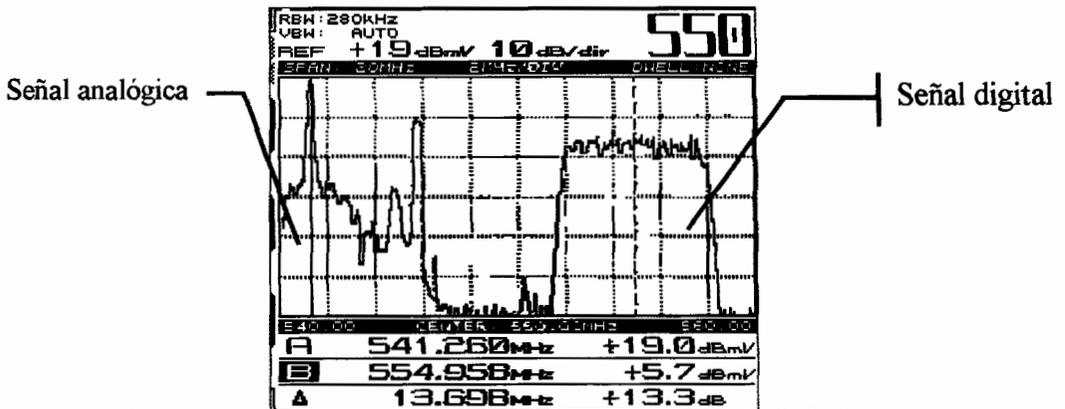


Figura 4.13. Aspecto de una señal analógica y una digital en el Analizador de Espectro

El equipo que nos puede brindar la información necesaria para monitorear una señal digital de este tipo, se denomina ANALIZADOR QAM y nos brinda la siguiente información en función de la señal de entrada:

- **Diagrama de Constelación.** Nos muestra la distribución de los puntos que representan los símbolos de información.
- **Retardo de Grupo.** Permite medir la variación de la fase con la frecuencia, si existe retardo de grupo en la red, las señales de una frecuencia llegarán antes que las de otra.
- **Sweep (barrido).** Con el diagrama de barrido el analizador envía una señal y con ella se puede determinar la existencia de ondas estacionarias causado por impedancias desacopladas.
- **Nivel promedio de potencia digital.** Para esto se realiza un muestreo de la señal y se suman sus componentes
- **MER**

- BER

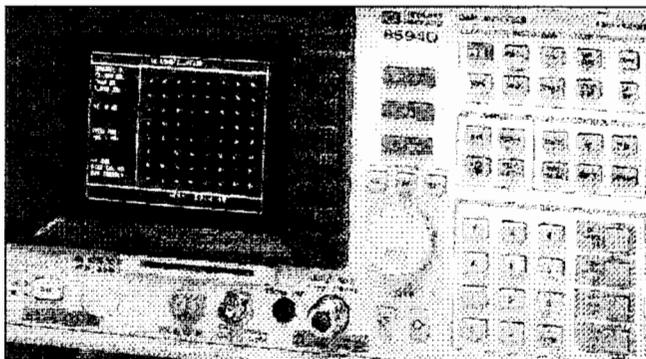


Figura 4.14. Analizador QAM

4.6.4.1. MONITOREO DE LA SEÑAL

Con el ANALIZADOR QAM se pueden determinar los factores causantes de la pérdida de calidad de la señal, según los diagramas de constelación, retardo de grupo y de barrido.

Ganancia de Compresión. La señal presenta esta característica cuando ha atravesado amplificadores y filtros IF o RF, up/down converters y ecualizadores IF. En el diagrama de constelación de una señal con ganancia de compresión parecería que a los puntos de las zonas más externas se los halara hacia el centro, los puntos cercanos al centro no sufren alteración.

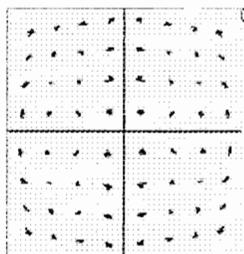


Figura 4.15. Diagrama de constelación de un sistema con ganancia de compresión

Ruido del sistema. Este factor es intrínseco del modulador QAM, se lo identifica cuando los puntos de la constelación se encuentran muy alejados de su ubicación real, y se confunden con los puntos de sus alrededores.

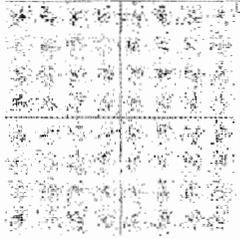


Figura 4.16. Diagrama de constelación donde se puede apreciar el Ruido del sistema

Ruido de fase. Lo producen los up/down converters del HE. Se muestra como una rotación de los puntos de la constelación en los extremos.

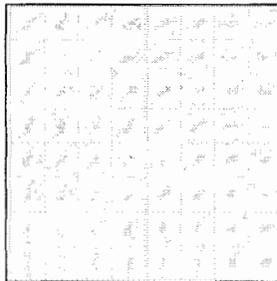


Figura 4.17. Diagrama de constelación donde se puede apreciar el Ruido de fase

Interferencia coherente. Causado por las componentes armónicas de otras señales, los puntos de la constelación de una señal con este tipo de interferencia, muestran una apariencia semejante a una dona.

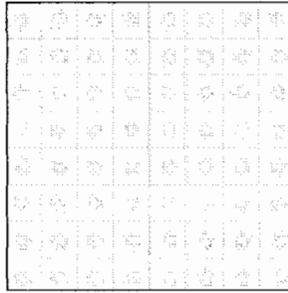


Figura 4.18. Diagrama de constelación donde se puede apreciar interferencia coherente

Retardo de Grupo. Para una señal QAM se considera un rizado de la señal de menos de 75ns, si es mayor que este entonces se producirá una malinterpretación de símbolos en el decodificador ya que algunas señales llegarán antes que otras. El retardo de grupo es causado por filtros en mal estado.

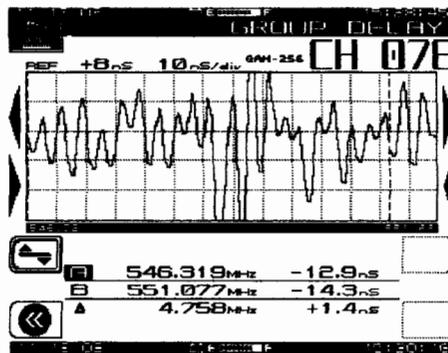


Figura 4.19. Retardo de grupo

4.6.5. CAPACIDAD DEL CANAL

En un canal con modulación 64QAM y una tasa de información de 26.97 Mbps pueden viajar 6 canales de 4Mbps (PES audio+PES video), 5 canales de 5Mbps, 8 canales de 3 Mbps, esta elección debe basarse en la apreciación visual de la señal más que en el mínimo uso del ancho de banda.

Se tiene disponible en el espectro de la red HFC la banda comprendida entre los 550Mhz y 864 Mhz (BW= 314 Mhz), se pueden incluir hasta 52 canales digitales con modulación QAM 64, y si se enviasen 6 canales de 4Mbps dentro del ancho de banda de cada canal, **se pueden transmitir hasta 312 canales de television en formato MPEG-2.** En los 496 Mhz disponibles para la transmision de canales NTSC se pueden transmitir hasta 82 canales analógicos lo que nos permite determinar la eficiencia de la transmisión digital sobre la analógica.

Eficiencia NTSC= #canales/ Ancho de banda =16.53%

Eficiencia FAT= #canales/ Ancho de banda= 99.36%

Si en un futuro se eliminase totalmente la transmisión de canales analógicos de televisión se liberarían 496Mhz en el espectro de la red, lo que permite una expansión en otros servicios brindados, por citar un ejemplo en el servicio de CABLE MODEMS se pueden expandir hasta en 82 canales para downstream con una tasa de 31Mbps en cada canal.

4.9. ESQUEMA DE LA RED

Como hemos visto hasta aquí, la señal tuvo que atravesar diferentes procesos para convertirse en un flujo multiplexado de paquetes MPEG-2.

Los canales que atraviesan el encoder poseen un flujo de 216 Mbps con propiedades de audio, video y datos multiplexadas, a este tipo de salida se le llama Flujo de Transporte de Programa Simple (SPTS). A la salida del IRD se tiene que en el flujo

de 216Mbps se encuentran multiplexados más de dos canales, a esta salida se la conoce como Flujo de Transporte Multiprograma (MPTS), como esta información ya se encuentra multiplexada pasa directamente al encriptador, no así los flujos de salida de los encoders, los cuales se multiplexan convirtiéndose a la salida en un flujo multiprograma.

Luego del multiplexado, la información se encripta para evitar el acceso indebido a la señal.

El siguiente paso comprende la modulación de la señal en Amplitud de Cuadratura, con una constelación de 64 símbolos se puede transmitir hasta 27Mbps en un ancho de banda de 6Mhz, esto permite enviar hasta 6 canales de 4Mbps cada uno. Las propiedades de la señal en cuanto a la relación C/N y MER se refiere, deben ser mayor a 27dB y 23dB respectivamente; el BER no debe ser mayor a 10^{-6} . La señal de salida del modulador debe estar contenida entre los 550 y 864Mhz.

La salida del modulador posee varias salidas distanciadas en frecuencia, para convertir este en un flujo único se necesita un banco de splitters pasivos, a la salida de estos se tendrá un flujo multiprograma cuyo paso final para la distribución por la red es la combinación con los otros servicios que se difundirán en paralelo.

La Red de Control está encabezada por el Sistema Administrador del HeadEnd, el cual controla el acceso a determinados canales a través del Sistema de Acceso Condicional (CAS), así como la elaboración de la Guía Electrónica Programable

(EPG). A más de esto el Administrador recibe y envía información a través de los canales fuera de banda (OOB). El Sistema Administrador controla el funcionamiento de los Encoders, IRD's, así como el del multiplexor, encriptador y modulador a través de una interfaz Ethernet. La Red de Control se explicará más detenidamente en el siguiente subcapítulo.

El esquema de la red que permitirá la transmisión de canales de televisión en formato digital y analógico por la red HFC se muestra a continuación.

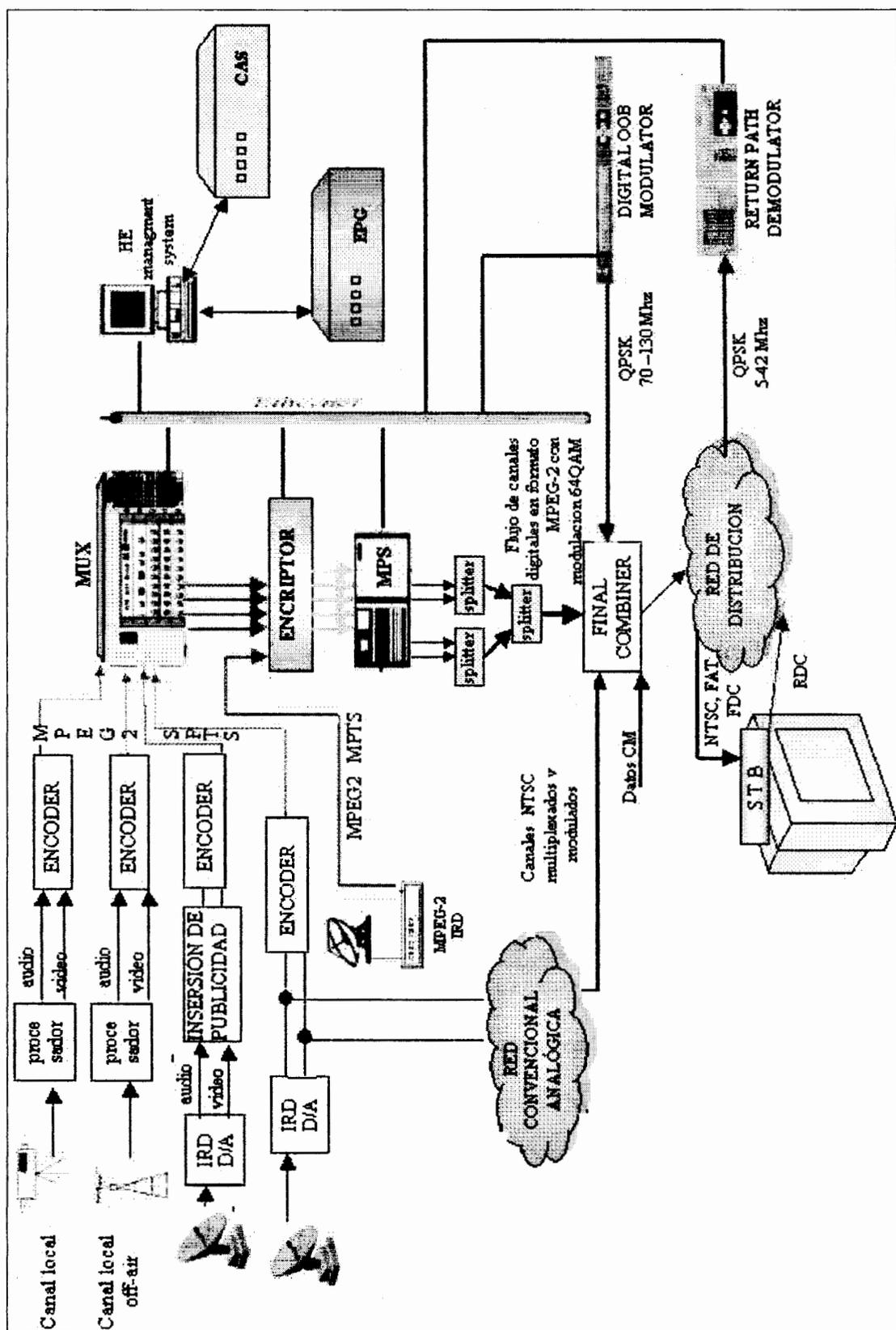


Figura 4.20. Esquema de la RED

4.7. LA RED DE CONTROL

4.7.1. MODULADOR DEL CANAL DE DATOS DE BAJADA (FDC)

El canal FDC se utiliza para control y transmisión de datos de la Guía Electrónica. Los datos se transmiten con formato de paquetes de transporte MPEG-2. Las características del modulador son:

- Modulación QPSK
- Tasa de datos de transmisión 2.048 Mbps
- Espaciado entre canales 1.8Mhz
- Rango de frecuencias: 70 a 130 Mhz
- Nivel de portadora a la salida del modulador: 30 dBmV rms a 50 dBmV
- C/N >20 dB

4.7.2. DEMODULADOR DEL CANAL DE DATOS DE SUBIDA (RDC)

Por medio de este canal el terminal del usuario puede llevar información acerca de adquisiciones PPV o de VOD al headend. La transmisión de información se realiza a ráfagas, cada usuario accede a través de un esquema de polling, por esta razón la transmisión se realiza usando el formato de celdas ATM:

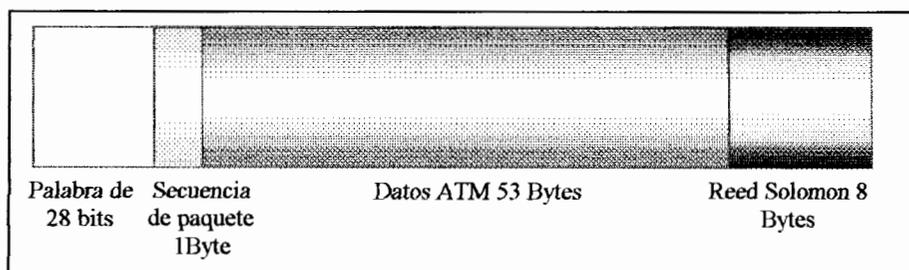


Figura 4.21. Estructura de un frame de datos de subida

El RDC se apega al estandar DVS-178, las características de un demodulador de canales de retorno son:

- Modulación QPSK diferencial
- Tasa de datos de transmisión 256Kbps
- Espaciado entre canales: 192Khz
- Rango de Frecuencias 8.096 MHz a 40.160 MHz
- Modo de acceso TDMA
- Nivel de portadora a la entrada del demodulador: 3 +/-10 dBmV
- $C/N > 20\text{dB}$

4.7.3. EL SISTEMA ADMINISTRADOR DEL HEAD END

Este es el elemento más importante de la red de control entre sus funciones estan:

- Configurar los componentes del headend. _Se puede configurar la tasa de video a transmitirse por determinado programa o el número de canales a transmitirse a la salida del multiplexor.

- Organizar los servicios y programas. _Recibir solicitudes de PPV.
- Generar reportes de estado del sistema
- Proporcionar mensajes repetitivos: polling hacia los terminales digitales
- Enviar por el canal FDC información acerca del control de acceso de los usuarios a determinados servicios. El administrador puede modificar las tablas de acceso condicional CAT (PID =1) según el usuario cambie de un servicio a otro (premium a basico, por ejemplo)

4.7.4. SISTEMA DE ACCESO CONDICIONAL (CAS)

El sistema de seguridad interactúa directamente con el sistema de control del headend, estos sistemas de seguridad funcionan mediante la asignación de claves a los usuarios, que les permite verificar su autenticidad al momento que estos acceden por el canal de retorno, luego de ser acreditados, se les conceden los servicios que solicitan mediante el envío de información por el canal FDC que le permitirá a su terminal digital procesar la información que antes no era accesible.

El algoritmo que el sistema de seguridad debe soportar para la validación de los servicios es el Algoritmo Estándar de Encriptado DES, a más de esto en el equipo terminal se ejecutan dos algoritmos más para la autenticación del HOST.

El sistema de seguridad recibe la identificación del HOST y junto con el Administrador verifica su legitimidad, en el caso de no lograr esto el sistema puede restringir el acceso a determinados servicios o la completa pérdida de este.

4.7.5. GUÍA ELECTRÓNICA PROGRAMABLE

La EPG, pone al alcance de los usuarios la guía de los programas a presentarse en el canal que actualmente se esta viendo, esto se logra con los datos contenidos en las tablas de información de eventos EIT, cada tabla contiene información hasta para un periodo de 3 horas. La forma de diseñar una guía de programas se encuentra contemplada en el estándar ATSC A/55.

4.8. EQUIPO TERMINAL DEL USUARIO

A nivel del usuario se encuentra el HOST y el POD, el primero es el equipo encargado de recibir las tramas MPEG-2 , demodularlas, procesarlas y convertirlas al formato NTSC, el POD se encarga de la comunicación con el HE, ya sea para verificar la autenticidad del HOST y los servicios a los que este esta suscrito o para el envío de solicitudes PPV a través del canal de retorno. Tanto el HOST como el POD poseen tres algoritmos de seguridad, con cada inicialización de ambos se envía la ID del HOST al CAS y este determina la autenticidad del equipo.

Este STB digital debe tener las siguientes características:

- Recibir canales de video codificados en formato MPEG-2, y audio en formato AC-3.

- El ancho de banda de cada canal de 6 Mhz, con una modulación 64-QAM a una velocidad maxima de 27Mbps por canal
- Nivel de la señal a la entrada -15dBmV a $+15\text{dBmV}$

CAPÍTULO 5: COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN E INFRAESTRUCTURA

En el capítulo anterior hemos visto los equipos necesarios para el diseño de la red que permitirá transmitir señales de televisión en formato digital, este proyecto no sería confiable si es que no se respalda en un análisis económico. Por esta razón en el presente capítulo nos enfocaremos en los costos de infraestructura y las operaciones necesarias para la puesta en marcha del mismo.

La implementación del presente proyecto implica inversiones importantes en varias áreas y etapas dependiendo de la fase en la que se encuentre. Dichas inversiones comprenden la evaluación técnica del estándar adecuado para implementar en la red, la adquisición de equipos, el desarrollo de programas, capacitación de personal, pruebas técnicas y estrategias de penetración al “target market” al que se quiere llegar.

5.1. Costo de adquisición de los equipos

Por ser una tecnología nueva en el país los equipos deben ser adquiridos en el exterior, como se vio en el capítulo 3, el estándar elegido para el diseño de la red fue OpenCable, por este motivo los proveedores se encontrarán en los Estados Unidos.

Los costos de adquisición de los equipos incluyen el precio de compra de los equipos directamente a la oficina matriz del proveedor y los trámites de importación en la aduana.

El costo de cada equipo se detalla a continuación:

Encoders. Durante el proceso de conversión se requiere un encoder por cada señal analógica que se desee transmitir digitalmente, y por cada señal recibida digitalmente que se requiere en formato analógico por las siguientes razones:

- Si el audio de la señal recibida no corresponde al estándar adoptado
- Para la adición de publicidad, ya que los equipos encargados de este proceso requieren una señal de entrada analógica

Se requieren entonces una cantidad de 13 encoders para digitalizar las señales de televisión nacional (recibidas en formato analógico), 7 encoders para señales recibidas digitalmente cuyo audio no corresponda al estándar AC-3, y 2 encoders para añadir publicidad. En total se necesitan 22 encoders; los equipos encargados de realizar esta operación poseen dos tarjetas codificadoras, requiriéndose entonces 11 equipos para obtener 22 señales de salida en formato digital. El precio de cada equipo es de \$7,500 dólares cada uno:

- Encoders (11): \$ 82,500 (\$7,500 c/u)

Receptor satelital digital._ La señal de salida de estos equipos será un flujo multiplexado de paquetes de transporte MPEG2, y será difundida exclusivamente en formato digital. Se arrancará con una cantidad inicial de 5 receptores, cada uno con un valor de \$1,500 dólares.

- Receptor satelital digital (5): \$7,500 (1,500 c/u)

Multiplexor, encriptador y modulador._ Estos tres equipos se encargan de producir un flujo multiplexado de paquetes MPEG-2 cifrados y con esquema de modulación QAM-64, la señal de salida ocupará el ancho de banda comprendido entre los 550Mhz y 864 Mhz. El costo de adquisición de estos equipos es:

- Equipos de multiplexación, encriptado y modulación: \$152,500

Equipos para la red de control._ Dentro de este grupo se encuentran el Sistema Administrador, el Sistema De Acceso Condicional (CAS), la Guía Electrónica Programable, y el Modulador del Canal De Datos De Bajada.

- Equipos para red de control: \$110000

Equipo de monitoreo de la señal._ Mediante este equipo se podrá determinar la calidad de la señal y prevenir problemas que puedan causar una pérdida de la imagen, el equipo requerido para esta función es el analizador QAM.

- Analizador de señales QAM (1): \$25800

Equipos requeridos a nivel de usuario._ Estos equipos son requeridos por el usuario para acceder al servicio de televisión digital, lo conforman el Set top Box digital y el control remoto.

- Set top Box digital (45000): \$3600000 (80 c/u)
- Control remoto para el STB (45000): \$450000 (10 c/u)

Costo Total de Adquisición de equipos: \$ 4'428, 300

5.2. Costos y tiempo de implementación del proyecto

La implementación del proyecto consiste en dos etapas preliminares: el proceso previo al lanzamiento al mercado de este servicio, que incluye la instalación e interconexión de los equipos, y el desarrollo de las aplicaciones necesarias que permitirán el monitoreo de los usuarios de este servicio. El proceso de implementación culmina con el desarrollo de pruebas del macro-proceso en su totalidad.

5.2.1. Etapas preliminares

Las etapas preliminares a la implementación del proyecto se detallan a continuación:

Instalación e interconexión de equipos

La primera etapa preliminar para la implementación de la red, consiste en la instalación

física de los equipos adquiridos y su interconexión. Desde el momento en el cual los equipos son adquiridos los técnicos encargados deben estudiar su funcionamiento. Dado que se trata de equipos cuyo manejo se realiza a través de una aplicación de software “amigable”, solo se requiere el manual para manejarlos. Hay varios aspectos que se deben considerar previa la instalación de los equipos. Por un lado, se debe considerar la ubicación física de los equipos ya que el espacio entre ellos debe permitir la fácil identificación de sus salidas y entradas, a parte que es un factor clave para evitar los sobrecalentamientos. Por último los valores de voltaje y tierra deben ser considerados antes de conectar los equipos.

DESARROLLO DE SOFTWARE

La segunda etapa preliminar a la implementación de la red, tiene que ver con el desarrollo del software que permitirá tanto a los usuarios como a los operadores tener acceso a la red.

En primera instancia, es necesario desarrollar una interfaz mediante la cual los usuarios puedan interactuar con los equipos. Esto se logra con la **EPG**, la cual despliega en la pantalla del televisor los servicios a los que este puede acceder en un canal determinado. Esta aplicación se debe mostrar de manera amigable al usuario, y se debe navegar por ella a través de los comandos que posee el control remoto, la comunicación entre el cableoperador y el usuario para esta aplicación se realiza a través de los canales fuera de

banda.

Para controlar el acceso registrado y no registrado de usuarios a los servicios ofrecidos por la red es necesario desarrollar un programa que restrinja el acceso del usuario a servicios a los cuales no se haya suscrito, este sistema de asignación de recursos se debe realizar desde el sistema administrador de la red y para ello es necesario desarrollar un *software de acceso*.

Del mismo modo para monitorear la calidad del servicio que se brinda a los usuarios es necesario desarrollar un *software de monitoreo* que permita ajustar ciertos parámetros que atenten contra la calidad de la señal recibida por este.

5.2.2. Pruebas y puesta en marcha

Luego de las etapas preliminares a la implementación, se deben realizar pruebas, tanto interna como externamente.

Pruebas internas

En el ámbito interno se debe monitorear el funcionamiento y la comunicación entre los equipos. Aquí se debe verificar si los encoders y los receptores satelitales están operando de forma óptima a una determinada razón de bits, que no exceda los 4Mbps por canal, presentando una imagen sin pixelado y una señal de audio sin distorsión. Las pruebas que se deben realizar al multiplexor radican básicamente en la capacidad de cada canal; para

controlar el encriptador y modulador se necesita el analizador QAM con el fin de verificar si el diagrama de constelación de las señal no presenta niveles de ruido o interferencia.

Para probar el software, se necesita acceder por el Administrador del Sistema a los decodificadores del usuario simulando el acceso de estos a los servicios de la red, para que la aplicación tome las decisiones adecuadas de acuerdo a los parámetros de acceso del usuario. Las pruebas de interacción del usuario con la guía electrónica se deben realizar primeramente dentro de la red interna, para controlar el desempeño de la comunicación a través de los canales fuera de banda.

Duración de pruebas internas: Se estima que el tiempo dedicado a realizar las pruebas internas no debería exceder más de un mes.

Pruebas externas

A más de las pruebas internas se deben realizar otras pruebas de campo las cuales consistirían en brindar el servicio a una pequeña muestra de la población, la cual estaría conformada por personas afines a la empresa; las pruebas se realizarían en un aproximado de 100 clientes durante tres semanas.

Duración de pruebas externas: Se estima que el tiempo dedicado a realizar las pruebas externas no debería exceder más de tres semanas.

La **puesta en marcha** del proyecto será coordinada con el área comercial de la empresa

ya que de acuerdo a la demanda inicial del servicio se realizarán las pruebas preliminares y se evaluarán inversiones posteriores que permitan ofrecer el mencionado servicio de manera eficiente.

5.2.3. Costos de etapas preliminares

Los costos de las etapas iniciales se los puede detallar de la siguiente manera:

INSTALACION E INTERCONEXIÓN DE EQUIPOS:

El personal encargado de la instalación debe estar formado por Ingenieros empleados de la empresa, de este modo la inversión esta contemplada en su salario.

Ingenieros involucrados : 3

Inversión: \$2,400. (\$800 c/u)

Tiempo estimado: un mes

DESARROLLO DE SOFTWARE

Para el desarrollo del software se pueden contratar programadores ajenos a la empresa, en este caso su sueldo estaria determinado al finalizar su labor.

SOFTWARE PARA ELABORACIÓN DE EPG:

Programador involucrado: 1

Inversión: \$3,000

Tiempo estimado: 2 meses

SOFTWARE PARA CONTROL DE ACCESO:Programador involucrado: 1Inversión: \$2,000Tiempo estimado: 2 meses**SOFTWARE PARA MONITOREO DE USUARIOS:**Programador involucrado: 1Inversión: \$2,000Tiempo estimado: 2 meses

<i>Costo Total de etapas preliminares: \$ 9400</i>
--

Costos de la etapa de pruebas

Los costos que conllevan las pruebas realizadas a nivel interno se deben realizar por el mismo personal encargado de la instalación, y como este forma parte del personal de la empresa la inversión es mínima

PRUEBAS INTERNASIngenieros involucrados: 3Inversión: \$2,400. (\$800 c/u)Tiempo estimado: un mes

Para las pruebas externas se necesita personal técnico encargado de instalar los 100

decodificadores en las casas de los usuarios que evaluarán el servicio ofrecido. El personal encargado de instalar los decodificadores es miembro de la empresa y la inversión se encuentra considerada dentro de su salario mensual. Pero los encargados de regular la calidad de servicio y de solucionar los posibles problemas durante ese período son los Ingenieros encargados de la implementación. En lo que concierne al personal encargado del desarrollo del software el costo de las pruebas se encuentra contemplado en el valor del programa.

PRUEBAS EXTERNAS

Personal técnico involucrado : 3

Inversión: \$1800. (\$600 c/u)

Tiempo estimado: tres semanas

Costo total de pruebas: 4200

5.3. Inversión en capacitación y mantenimiento

Luego de implementar la red se necesitará personal encargado del mantenimiento continuo de la red. La capacitación del personal encargado del monitoreo de los equipos en el Headend consiste en:

- Enseñarles en el manejo de las aplicaciones que permitirán monitorear los equipos de distribución de la señal: Encoders, Multiplexor, y Encriptador. Así también la

capacitación debe dirigirse al personal técnico encargado de instalar el decodificador en la casa del usuario con el fin de informarle a éste acerca de las funciones básicas de navegación por la guía electrónica.

- Instruirlos en todo cuanto se refiere al monitoreo de las señales dentro y fuera del Headend, como vimos esto se realiza con el analizador QAM.
- Mostrarles todo lo referente a la actualización de los equipos, algunos de ellos se pueden actualizar via web.
- También se considera la capacitación del personal en lo que se refiere al manejo de las aplicaciones de monitoreo del servicio, las cuales se ejecutan en el Sistema Administrador.

Se considera que se debe capacitar dos técnicos para el manejo de la red, la capacitación debe estar a cargo de los Ingenieros encargados de la instalación de los equipos, la capacitación no implica desembolso adicional de dinero ya que dentro de la adquisición de los equipos y desarrollo del software está incluida la capacitación del personal encargado del mantenimiento de la red; a su vez los Ingenieros encargados del proyecto capacitarán internamente a los técnicos que tienen como función la instalación de los equipos decodificadores.

Los upgrades de los equipos de distribución de la señal se realiza en la página web del proveedor, el cual al adquirir los equipos facilita una clave para que al acceder a dicha

página se introduzca la clave y se permita bajar la información que actualizará los equipos. La posibilidad de actualización es una característica intrínseca a los equipos adquiridos y por ende no representa inversión extra a la empresa.

En resumen, dada la fuerte inversión en la compra de los equipos, el mantenimiento y la capacitación para el uso correcto de los mismos no implica inversiones adicionales ya que esta asistencia técnica es prestada *sin costo adicional* por el proveedor.

Inversión inicial	dólares
Adquisición de equipos	4428300
Etapas preliminares	9400
Pruebas	4200
Inversión total	4441900

Tabla 5.1. Inversión Inicial

5.4. Análisis de rentabilidad del proyecto

DEMANDA HISTÓRICA. - El proyecto es rentable en la medida que las proyecciones de crecimiento de la demanda de este servicio alcancen las expectativas. Estas proyecciones están basadas en las estadísticas de crecimiento del mercado de televisión pagada en los últimos años, la alta aceptación y por ende, importante participación de mercado para otros productos relativamente nuevos lanzados por la empresa (Cable Módem) y obviamente en los resultados esperados de una intensa campaña de publicidad y mercadeo para este nuevo producto. Para la misma, se ha destinado \$58,000.00 distribuidos entre los canales de distribución, fuerza de ventas, propaganda en radio, TV, prensa escrita, etc.

De acuerdo a los datos de los últimos años, la demanda del servicio de televisión pagada ha tenido un crecimiento anual sostenido (35% anual). Por otro lado, la demanda del nuevo servicio de Cable Módem tuvo un importante crecimiento del 21% en un solo año.

DEMANDA ESPERADA.- Las cifras históricas muestran que los servicios ofrecidos por la empresa tienen una alta aceptación en el mercado local, lo que significa que, siendo el proveedor líder de este sector, tienen altas perspectivas de éxito por el poder de negociación sobre los distribuidores y clientes y las ventajas comparativas frente a la competencia.

Los planes de suscripción que se tienen previstos lanzar al público se denominan inicialmente como PREMIUM y SUPER PREMIUM. Tomando en cuenta tarifas de servicios similares en Estados Unidos¹, se planea fijar un precio de \$0.25 por canal. Por tanto, para el plan PREMIUM compuesto por 150 canales, se fija un precio de \$38 mensuales y para el SUPER PREMIUM compuesto por 300 canales, se fija un precio de \$75. Ambas tarifas no incluyen IVA. Por otro lado, se planea ofrecer paquetes especiales, planes PAY PER VIEW, audio digital, etc, que también pueden significar ingresos adicionales para la empresa.

Considerando estas tarifas y la evolución de la demanda, una vez recuperada la inversión, y tomando en cuenta reinversiones en futuros períodos, el proyecto puede arrojar una tasa de rentabilidad comprendida entre 54 – 67 % si la demanda crece de acuerdo a lo

esperado.

5.4.1. Tiempo de recuperación de la inversión

Se espera que por la fuerte inversión en tecnología y el gradual crecimiento de la demanda, el proyecto presente resultados positivos en un plazo máximo de tres años. Para este análisis hemos estimado que el 20% del total de suscriptores del nuevo servicio tiene el plan Super Premium, y el 80% se encuentra registrado en el plan Premium. Si establecemos una demanda esperada optimista de acuerdo a las variaciones previamente vistas, el resultado lo podemos tabular de la sgnte. forma:

Año	1	2	3	TOTAL
# DECOD	2500	3025	4084	9609
PLAN SP (\$)	450000	544500	735075	1729575
PLAN PR (\$)	900000	1089000	1470150	3459150
TOTAL(\$)	1350000	1633500	2205225	5188725

Tabla 5.2. Valores proyectados con demanda esperada optimista

La meta inicial para el primer año es del 6% de los equipos decodificadores adquiridos (45000). Esto significa vender en el primer año 2500 equipos.

Del año 1 al 2 se considera una tasa de crecimiento similar a la variación del Cable módem en similar período de tiempo (21%).

A partir del 3er. año, consideramos una variación equivalente al crecimiento sostenido de los últimos años (35%) en cuanto a suscriptores de televisión pagada tomando en cuenta,

a parte de la demanda creada para este nuevo servicio, que estos equipos de TV digital reemplazarán paulatinamente a los actuales.

De esta manera podemos observar que al final del tercer año se puede recuperar la inversión inicial y empezar a tener ganancias (utilidades) destinadas a la reinversión o al reparto entre los accionistas y/o participantes del proyecto.

5.4.2. Resultados esperados

AÑO	3	4	5	6	TOTAL
CODIFICADORES	4084	5513	7443	10048	27088
PLAN SP	735075	992351	1339674	1808560	4875660
PLAN PR	1470150	1984703	2679348	3617120	9751321
TOTAL	2205225	2977054	4019023	5425680	14626982
reinv(60-65%)	688725	2382756	4610881	8521813	16204175
UTILIDAD NETA		1283023	3073921	4588669	8945613
%RENTABILIDAD		54%	67%	54%	

Tabla 5.3. Resultados esperados

Tal como se indicó en el anterior punto, si la demanda de suscriptores de televisión pagada se incrementa de acuerdo al índice de crecimiento sostenido de los últimos años (35%), la empresa estará en la capacidad de reinvertir en tecnología y demás servicios en una proporción comprendida entre el 60 – 65% de los ingresos obtenidos por el proyecto y obtener un margen de rentabilidad comprendido entre el 54 – 67% sobre la inversión, como lo podemos ver en el cuadro adjunto. **En el tercer año se reinvierte todo el excedente de la inversión.**

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

6.1. CONCLUSIONES

1. Tal y como se indica en este proyecto se cumple que el estándar más adecuado para la digitalización y compresión de señales de video a transmitirse por la red HFC de TVCABLE es el estándar OpenCable, ya que posee el 40% de ventaja sobre el estándar europeo, DVB, básicamente, por su control de acceso más robusto, y por que sus equipos poseen un menor valor adquisitivo. El aspecto de seguridad fue el punto clave para tomar la decisión, dado el problema que la empresa sufre actualmente por la “piratería” de su señal.
2. Con el diseño de red propuesto en este trabajo la empresa podrá transmitir simultáneamente señales de televisión en formato analógico y digital, mientras dure el proceso de conversión. Gracias a las herramientas de compresión MPEG-2 y al esquema de modulación QAM, se podrán transmitir hasta 6 canales de video a una razón de 4Mbps.

3. Se concluye también que la digitalización de las señales de televisión permite usar de forma más eficiente del ancho de banda mediante la eliminación de información redundante ya sea esta visual o auditiva; y le brinda a la información una mayor inmunidad al ruido.
4. La forma más apropiada de incursionar al formato de televisión digital en nuestro país es a través de una red HFC.
5. Finalmente, al estimar los costos de infraestructura y el tiempo de implementación que conlleva este cambio tecnológico, la empresa podrá recuperar su inversión al final del tercer año, y con una reinversión del 60% a 65% de sus ingresos a partir del cuarto año, obtendrá un margen de rentabilidad comprendido entre el 54% y 67%.

6.2. PERSPECTIVAS DE FUTURO

Con este trabajo se nuestro país ha dado su primer paso en cuanto a televisión digital se refiere. Durante el proceso de transición se podrán transmitir hasta 312 canales digitales, pero una vez que el espectro destinado a señales analógicas se libere, se podrán transmitir más de mil canales; incluso la empresa podría expandir sus servicios de datos y telefonía a más clientes.

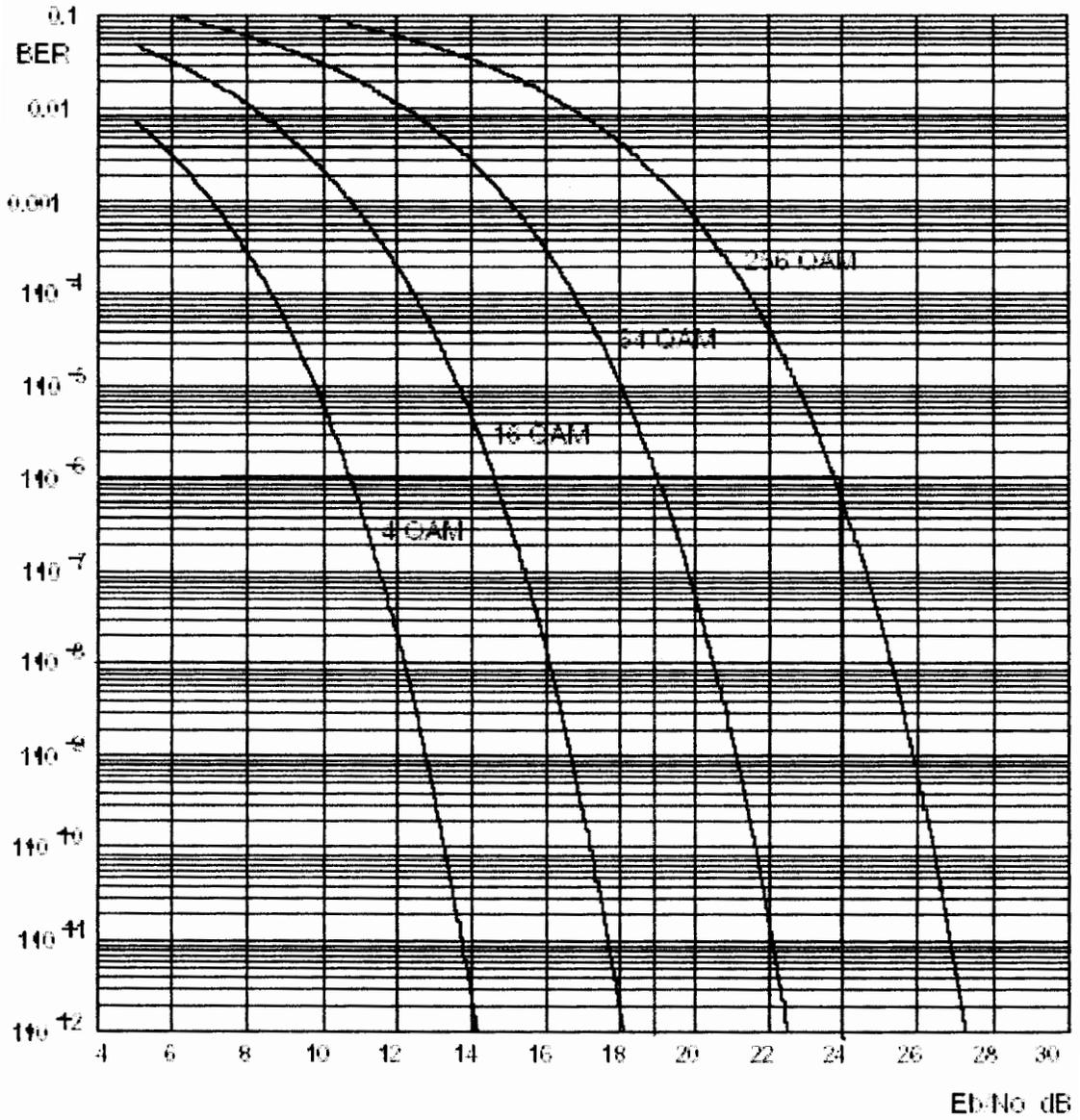
Al liberar el espectro de televisión analógica de la red HFC, se pueden ofertar servicios de video bajo demanda, mediante estos, el usuario podrá ver un programa determinado con la capacidad de adelantar, retroceder o congelar la imagen pulsando ciertos botones de su control remoto.

MPEG-2 es el primer paso para una red que se encuentra digitalizando sus señales de televisión, actualmente en los países desarrollados, se esta experimentando con el estándar MPEG-4; su esquema de codificación se basa en la identificación de objetos audiovisuales y sus características de movimiento entre un frame y otro, MPEG-4 se permitirá la convergencia de los sistemas de televisión, informática y de comunicaciones. Con MPEG-4 el usuario podrá acceder a las mismas ventajas que brinda MPEG-2 más la posibilidad de interactuar con las imágenes directamente, ya sea cambiando su tamaño, ubicación, color, etc. Los decodificadores MPEG-4 al momento poseen un precio elevado dado su alto grado de procesamiento; pero para una red que se basa en MPEG-2 le resulta económicamente factible la implementación de MPEG-4 en su red ya que el ultimo es compatible con el primero, a más de esto con MPEG-4 se puede comprimir hasta en 2Mbps una señal de video, esta última característica le permitiría en un futuro a la empresa brindar hasta 1400 canales de televisión digital.

ANEXOS

ANEXO A

**Diagrama BER vs Eb/No para un esquema de modulación
QAM**

Diagram for QAM BER vs E_b/N_0 

BIBLIOGRAFÍA

1. Wayne Tomasi, "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas"; 1996; Pearson Educación; Capítulo 11; pp 424-456.
2. Lior Zimet; "Digital Processing Of Analog Television"; www.ise.stanford.edu/2002projects/ee392j/zimet_report.pdf; 2002; pp 1-11
3. SkyStream Networks; "A Flexible Video Headend Is Key To An Optimal Video Delivery Architecture"; http://www.tripleplay.tv/pdf/SkyStream_Whitepaper.pdf; 2003; pp 1-7
4. DJ Tezlaff; "How Video Works"; www.filmclass.com/flm222/hwvdrks.pdf; 2001; pp 1-8
5. Peter Noll; "Mpeg Digital Audio Coding Standard"; www.ff.vu.lt/studentams/tekstai/vizualizavimas/mpeg%20audio%20coding.pdf; Technical University of Berlin; 1999; pp 5-11,20-30
6. Department of Electrical and Computer Engineering, University of California, Santa Barbara; "Efficient Compression And Processing Of Audio And Video Signals"; http://www.ucop.edu/research/micro/00_01/00_084.pdf; 2001; pp 1-4
7. Dr. S.R. Ely; "MPEG Video Coding, A Simple Introduction"; www.ebu.ch/trev_266-ely.pdf; 1995; pp 2-12
8. Carlos Romero Sanjinés; "La Televisión Digital: Perspectivas Para Su Introducción En América Latina."; www.felafacs.org/dialogos/pdf50/romero.pdf; pp 5-14

9. "Employing ASI In Broadcast Station Design";
<http://66.39.27.70/ennes/ASI%20Paper%20-%20SBE%202003.pdf>; 2003; pp 1-19
10. A.K.Sekhar; "An Introduction To Digital Cable Tv , Part I";
www.scatmag.com/technical/Digital%20TV-1.pdf; 2001; pp 1-3.
11. Snell y Wilcox; "MPEG VIDEO"; 2002; pp 7-20
12. Laurent Boch; "MPEG-2 Profiles And Levels";
www.netmode.ntua.gr/courses/postgraduate/video/documents/Profiles_MPEG-2.pdf;
1999.
13. Christopher Yang & Martin Soucy; "MPEG Interactive Tutorial: Mpeg Video Coding"
www.csi.uottawa.ca/~elsaddik/abedweb/teaching/elg5121/pres/30.pdf;
2002; pp 2-13.
14. Jerome Adda and Marco Ottaviani; "The Transition To Digital Television";
www.lbs.lon.ac.uk/faculty/mottaviani/TDTV.pdf; 2004; pp 7-14
15. Hewlett Packard; "MPEG-2: The Basics Of How It Works"
; http://www.educatorscorner.com/media/SLDPRE_MPEGtutorial1.pdf; 2000; pp 5-13.
16. James C. McKinney, Dr. Robert Hopkins; "Digital Audio Compression Standard (AC-3), Advanced Television Systems Committee."; www.atsc.org/standards/a_52a.pdf; 1995; pp 15-22.
17. Jerry Whitaker; "ATSC Standard"; www.atsc.org/standards/a_52a.pdf; 2003; pp 15.18
18. DVB; "Digital Broadcasting Systems For Television Sound And Data Services; Framing Structure, Channel Coding And Modulation For Cable Systems"; 1998.
19. Ulrich Reimers; "Digital Video Broadcasting (DVB), the future of television"; 1998.
20. Chris Hibbert; "A Copy Protection And Content Management System From The DVB" ; <http://www.dvb.org/documents/newsletters/DVB-SCENE-05-CopyProtectionArticle.pdf>; 2003.

21. Cable Television Laboratories; "Opencable Application Platform Specification"; www.opencable.com/downloads/specs/OC-SP-OCAP2.0-I01-020419.pdf, 2002.
22. Advanced Television Systems Committee; "Program And System Information Protocol"; http://www.atsc.org/standards/a_65b.pdf; 2003; pp 17-30.
23. Digital Video Subcommittee; "POD Copy Protection System Standard, DVS 301"; www.scte.org/documents/pdf/SCTE412003DVS301.pdf; 2003; pp 17-30.
24. Society of Cable Telecommunications Engineers (SCTE); "Digital Cable Network Interface Standard"; www.scte.org/documents/pdf/SCTE402001DVS313.pdf, 2001; pp 12-23.
25. Jean Macher; "Dtv Translators For Insertion Into Cable Tv Networks"; www.broadcastpapers.com/tvtran/ThalesDTVTranslator.pdf; 2002; pp 3-6.
26. Michael Guthrie; "ATSC Carriage Over QAM Cable A Perspective For Broadcasters"; www.roscor.com/resources_whitepapers/ATSCOverQuam%20.pdf; 2003; pp 4-8.
27. Chris Haji-Michael; "Noise Performances Of Different Modulation Schemes"; <http://www.sunshadow.co.uk/mcad/BER%20Curves.pdf>; 2004; pp 1-15.
28. Digital Video Subcommittee; "Digital Video Service Multiplex And Transport System Standard For Cable Television, DVS-241"; www.scte.org/documents/pdf/ANSISCTE432004.pdf; 2004; pp 2-9.
29. Digital Video Subcommittee; "Digital Video Transmission System For Cable Television Standard, DVS-031"; www.scte.org/documents/pdf/ANSISCTE432004.pdf; 2000; pp 2-9.
30. Digital Video Subcommittee; "Digital Broadband Delivery System: Out Of Band Transport Standard Part 1, DVS 178"; www.scte.org/documents/pdf/ANSISCTE5512002DVS178.pdf; 2002; pp 10-20.
31. Digital Video Subcommittee; "Digital Broadband Delivery System: Out Of Band Transport Standard Part 2, DVS 167"; www.scte.org/documents/pdf/ANSISCTE5522002DVS167.pdf; 2002.